RECUEIL

DE

MÉMOIRES, RAPPORTS

ET DOCUMENTS

RELATIFS A L'OBSERVATION

DU

PASSAGE DE VÉNUS SUR LE SOLEIL



PARIS

TYPOGRAPHIE DE FIRMIN DIDOT FRÈRES, FILS ET Cie

IMPRIMEURS DE L'INSTITUT DE FRANCE, RUE JACOB, 56

M DCCC LXXIV

RECUEIL

DE

MÉMOIRES, RAPPORTS

ET DOCUMENTS

RELATIFS A L'OBSERVATION

DU

PASSAGE DE VÉNUS SUR LE SOLEIL

AVIS

Le recueil de ***Mémoires, Rapports et Documents*** relatifs à l'observation du passage de Vénus sur le soleil, se composera de quatre parties distinctes, savoir :

1re Partie. Résumé des procès-verbaux des séances de la commission chargée par l'Académie des sciences du soin de préparer les expéditions.

2e Partie. Documents officiels relatifs à la mission de l'Académie, à la constitution de sa commission et à son fonctionnement; mémoires, rapports et documents qu'elle a suscités ou recueillis dans la période qui a précédé le départ des observateurs.

3e Partie. Rapports des observateurs au retour de leurs expéditions respectives.

4e Partie. Discussion des observations.

La publication actuelle constitue la 2e partie de ce recueil, qui prendra place dans la collection des Mémoires de l'Académie.

AVIS DU LIBRAIRE.

Ce volume forme le TOME XLI *des Mémoires de l'Académie des sciences.*

On a imprimé un titre spécial pour les personnes qui ne possèdent pas cette collection.

Paris. — Typographie de Firmin Didot frères, fils et Cie, rue Jacob, 56.

RECUEIL

DE

MÉMOIRES, RAPPORTS

ET DOCUMENTS

RELATIFS A L'OBSERVATION

DU

PASSAGE DE VÉNUS SUR LE SOLEIL



PARIS,

LIBRAIRIE DE FIRMIN DIDOT FRÈRES, FILS ET Cie

IMPRIMEURS DE L'INSTITUT DE FRANCE, RUE JACOB, 56.

—

1874.

INSTITUT DE FRANCE.

NOTICE

SUR

LA DISTANCE DU SOLEIL A LA TERRE

PAR

M. DELAUNAY

MEMBRE DE L'ACADÉMIE DES SCIENCES.

(Extrait de l'Annuaire pour l'an 1866, publié par le Bureau des Longitudes.)

Le Soleil joue un si grand rôle dans notre existence, que nous sommes naturellement désireux de connaître tout ce qui se rapporte à cet astre, et en particulier la distance à laquelle il se trouve de nous. Mais l'intérêt que présente la connaissance de cette distance du Soleil à la Terre est beaucoup plus grand qu'on ne pourrait le croire au premier abord, en la considérant comme celle d'un simple fait isolé; car elle sert de base à l'évaluation des distances qui séparent les divers astres les uns des autres. Aussi, de tout temps, les astronomes se sont-ils préoccupés des moyens à employer pour effectuer la mesure de cette distance fonda-

mentale, que nous sommes loin encore, à l'époque actuelle, de connaître avec toute la précision désirable. Nous nous proposons, dans cette Notice, de passer en revue les diverses tentatives qui ont été faites pour y parvenir, et d'indiquer nettement le point où en est maintenant cette importante question.

Pour arriver à connaître la grandeur d'une distance quelconque, il faut partir d'une distance bien connue, et chercher combien de fois cette dernière distance est contenue dans la première. La distance connue, qui prend le nom de *base* ou d'*unité*, est divisée au besoin en un certain nombre de parties égales, pour le cas où la distance à mesurer ne la contiendrait pas un nombre exact de fois, et où il y aurait à évaluer un reste plus petit que cette base ou unité. C'est ainsi que, si l'on veut obtenir la longueur d'un champ ou d'une pièce d'étoffe, on porte un *mètre* sur cette longueur, autant de fois qu'il peut y être contenu ; puis on évalue le reste, s'il y en a un, en fractionnant le mètre en *décimètres* ou en *centimètres*. Ce moyen direct de mesure ne peut pas toujours être employé ; on cherche alors un moyen plus ou moins détourné, qui puisse le remplacer en conduisant au même résultat.

Les distances ou longueurs que l'on peut avoir à considérer dans la nature présentent une variété infinie de grandeurs, depuis celles qui sont d'une inappréciable petitesse, telles que les dimensions et les distances mutuelles des atomes qui constituent les corps, jusqu'à celles qui sont d'une effrayante grandeur, telles que les distances comprises entre les divers corps disséminés dans les espaces célestes. Nous nous trouvons placés entre ces deux limites extrêmes,

ne nous rendant compte naturellement, d'une manière bien claire, que de ce qui n'est pas trop éloigné des distances que nous avons à considérer à chaque instant, c'est-à-dire des dimensions de notre corps et du chemin que nous avons à faire pour atteindre les corps voisins. Ce n'est que par un effort de l'esprit, en cherchant à nous familiariser avec certaines distances types, beaucoup plus grandes ou beaucoup plus petites que celles dont nous venons de parler, que nous parvenons à nous faire une idée un peu nette de ces dimensions, ou très-grandes ou très-petites, que nous présente la nature.

Si nous voulions nous servir d'une seule et même unité, le *mètre* par exemple, pour évaluer toutes les longueurs, nous trouverions pour ces longueurs des nombres variant à l'infini, depuis des nombres extrêmement petits jusqu'à des nombres excessivement grands. Nous comprenons très-bien, et nous voyons très-clairement ce que c'est qu'une longueur de 4 mètres, de 20 mètres, de 100 mètres, et aussi une longueur de $\frac{1}{3}$, $\frac{1}{25}$, $\frac{1}{100}$ de mètre ; mais si l'on nous parle d'une longueur d'un milliard de mètres, ou bien d'un millionième de mètre, il n'en est plus de même : le nombre qu'on nous indique ne laisse dans notre esprit que du vague, rien qui se distingue nettement d'une quantité dix fois plus grande ou dix fois plus petite. Pour éviter ces nombres ou très-grands ou très-petits, qui ne nous représentent rien de précis, nous sommes obligés de remplacer le mètre par une unité plus grande s'il s'agit de mesurer de grandes longueurs, ou par une unité plus petite s'il s'agit d'évaluer de petites dimensions. C'est ainsi que les distances itinéraires sur la Terre s'évaluent en kilomètres et non en mètres, et que les di-

mensions des petits objets s'évaluent en millimètres; tandis qu'on emploie le mètre pour les dimensions ordinaires, telles que la longueur d'un champ, d'une maison, d'une pièce d'étoffe. Si le mètre n'est plus d'un emploi convenable, quand il s'agit d'évaluer les distances itinéraires sur la Terre, à plus forte raison doit-on renoncer à l'employer pour des distances incomparablement plus grandes, telles que les distances mutuelles des astres; on ne peut espérer se faire une idée de ces distances, et des rapports qu'elles ont entre elles, qu'autant qu'on partira, pour les mesurer, d'une distance type qui soit du même ordre de grandeur qu'elles-mêmes.

Pour déterminer les dimensions des objets qui nous environnent et les distances qui les séparent les uns des autres, rien de plus naturel que de prendre comme terme de comparaison la longueur d'une des parties de notre corps, et d'en faire une unité de mesure. Telle est évidemment l'origine des unités de mesure qui ont reçu les noms de *coudée*, *brasse*, *pied* (*pied de roi*), *pouce*. Les petites distances parcourues sur la Terre peuvent être mesurées au moyen des mêmes unités; mais on a adopté pour cela d'autres unités, se présentant naturellement et dépendant encore des dimensions du corps de l'homme, telles que le *pas*, le chemin parcouru par un homme marchant pendant une heure (dans beaucoup de localités encore, on indique la distance d'un lieu à un autre en disant qu'elle est de deux heures, de trois heures, d'une demi-heure). Pour les voyages sur les continents et sur les mers, on a eu recours à d'autres unités de mesure, dépendant directement des dimensions du globe terrestre, telles que la *lieue* ordinaire (la 25e partie

d'un degré, qui est lui-même la 360e partie de la circonférence de la Terre), la *lieue marine* (la 20e partie d'un degré), le *mille* ou tiers de lieue marine (longueur de la 60e partie de l'arc d'un degré, ou de l'arc d'une minute). Le globe terrestre s'est trouvé ainsi substitué au corps de l'homme pour servir de terme de comparaison entre les diverses distances parcourues sur sa surface. Mais si l'on passe de ces distances terrestres à celles qui séparent les astres, même ceux qui sont le plus rapprochés de nous (en exceptant toutefois la Lune), les dimensions de notre globe deviennent beaucoup trop petites pour servir convenablement de terme de comparaison entre ces dernières distances ; on ne peut se faire une idée nette de leurs rapports de grandeur qu'en les comparant à l'une d'entre elles. La distance qui nous sépare du Soleil, l'astre le plus important pour nous, devient alors naturellement le nouveau terme de comparaison, la nouvelle unité de mesure que l'on est conduit à adopter.

Mais il ne suffit pas de prendre ainsi diverses unités de mesure, les unes petites, les autres grandes, suivant le degré de grandeur des distances que l'on veut évaluer ; il faut encore que ces diverses unités de mesure ne restent pas isolées les unes des autres : il faut qu'on les rattache entre elles, de manière à savoir combien de fois chacune d'elles est contenue dans une des autres, ou bien la contient. C'est ainsi que, par des opérations effectuées à la surface de la Terre, on a cherché à savoir combien le degré terrestre, ou la lieue, qui en est la 25e partie, contenait de pieds ou de *toises* (longueur de 6 pieds).

La grande variété des unités de mesure, choisies arbi-

trairement dans les diverses contrées pour l'évaluation des longueurs ordinaires, ayant amené le gouvernement de la France à adopter le *mètre,* mesure qui est tirée des dimensions de la Terre, et dont l'usage tend à devenir universel, il en résulte que le rayon du globe terrestre est en réalité la base fondamentale prise dans la nature pour arriver à la mesure de toutes les longueurs. Tandis que, d'un côté, on passe du rayon de la Terre au mètre qui, par ses multiples et ses sous-multiples, sert à la mesure des diverses longueurs terrestres, d'un autre côté on s'élève de ce rayon à la distance du Soleil à la Terre, distance qui sert d'unité de mesure pour les distances des corps célestes. Si d'une part, à l'aide d'opérations géodésiques importantes et multipliées, on a cherché à relier aussi exactement que possible la longueur du mètre à celle de la circonférence de la Terre ou de son rayon, d'une autre part on a cherché également à trouver le rapport exact qui existe entre ce rayon et la distance du Soleil à la Terre : ce sont les opérations diverses, entreprises en vue d'arriver à ce dernier résultat, que nous allons analyser successivement.

Dans tout ce que nous venons de dire, nous avons parlé de la distance du Soleil à la Terre comme d'une quantité déterminée, immuable. Nous savons cependant que cette distance varie continuellement, d'une époque à une autre de l'année. On s'en assure avec la plus grande facilité en mesurant le diamètre apparent du Soleil à diverses époques ; ce diamètre, qui augmente et diminue alternativement, nous indique que la distance du Soleil diminue ou augmente en même temps. Les valeurs extrêmes du diamètre apparent du Soleil étant 32′35″,6 (vers le 1er janvier) et 31′31″

(vers le 1er juillet), il en résulte que la plus petite et la plus grande des valeurs de la distance du Soleil à la Terre sont entre elles dans le rapport inverse de ces deux nombres, c'est-à-dire à très-peu près dans le rapport de 117 à 121. Quand nous avons dit que l'on prenait la distance du Soleil à la Terre pour unité de mesure, nous avons voulu parler de la *valeur moyenne* de cette distance (demi-somme de la plus grande et de la plus petite). C'est à la détermination de cette valeur moyenne que se rapportent les diverses recherches dont nous allons parler.

Détermination directe de la distance d'un astre à la Terre, par la mesure de sa parallaxe; première méthode.

Pour mesurer une longueur sur la Terre, pour trouver combien cette longueur contient de mètres, nous employons, suivant les cas, deux procédés bien distincts. Le premier consiste à appliquer directement, et un nombre convenable de fois, le long de la ligne à mesurer, une règle, une chaîne, ou un ruban, portant toutes les graduations en mètres et fractions de mètre dont on peut avoir besoin. Le second consiste à faire en sorte que la longueur à mesurer forme un des côtés d'un triangle dans lequel on puisse connaître facilement, soit les deux autres côtés avec l'angle qu'ils comprennent entre eux, soit, ce qui est le cas le plus ordinaire, un seul de ces deux autres côtés avec les deux angles qui lui sont adjacents : le triangle étant complétement déterminé par la connaissance de deux de ses côtés et de l'angle qu'ils forment entre eux, ou bien d'un seul côté et des deux angles adjacents, il en résulte que la lon-

gueur du côté inconnu peut se déduire des valeurs de ces éléments connus du triangle.

Pour réaliser l'emploi de ce second procédé, pour tirer des valeurs des éléments connus du triangle la valeur du côté inconnu ou de la longueur cherchée, on se sert, soit d'une construction graphique, soit d'une méthode de calcul. Supposons, par exemple, que les éléments connus du triangle soient un côté et les deux angles adjacents. On tracera sur une feuille de papier une ligne droite destinée à représenter, à une échelle choisie à volonté, le côté connu du triangle ; la longueur de cette ligne droite contiendra, je suppose, autant de millimètres que le côté du triangle auquel elle correspond contient de mètres. Cela fait, à l'aide d'un *rapporteur,* on mènera, par les extrémités de cette ligne droite, deux autres lignes droites faisant avec la première deux angles respectivement égaux aux angles connus du triangle ; ces deux nouvelles lignes, tracées jusqu'à leur point d'intersection, formeront avec la première un triangle *semblable* à celui dont nous venons de parler ; les longueurs des côtés de ces deux triangles seront respectivement proportionnelles. On n'aura donc plus qu'à considérer, dans le triangle tracé sur le papier, le côté qui correspond au côté inconnu de l'autre triangle, et à chercher par une mesure directe combien ce côté du triangle tracé contient de millimètres : on trouvera par là même le nombre de mètres contenu dans le côté correspondant de l'autre triangle, c'est-à-dire la longueur qu'on s'était proposé de déterminer. Telle est, dans toute sa simplicité, la méthode graphique dont nous venons de parler. Quant à la méthode de calcul qu'on peut lui substituer, nous

nous contenterons de dire qu'elle est fournie par la *Trigonométrie* ; qu'elle conduit exactement au même résultat que la méthode graphique, si ce n'est qu'elle comporte une plus grande précision dans la détermination de la longueur cherchée ; et qu'en raison de cette dernière circonstance, c'est celle qui est pour ainsi dire exclusivement employée.

Entre les deux procédés de mesure dont il vient d'être question, mesure directe ou mesure par triangulation, nous n'avons pas à choisir quand il s'agit de mesurer la distance d'un astre à la Terre. La mesure directe étant absolument impossible, nous ne pouvons employer que le procédé par triangulation. Cette mesure de la distance d'un astre à la Terre s'effectue donc exactement de la même manière que la mesure de la distance à laquelle on se trouve, sur la Terre, d'un objet dont on ne peut approcher.

Bien que cette détermination de la *distance d'un objet inaccessible* soit renfermée comme cas particulier dans le procédé général de mesure par triangulation que nous venons d'indiquer, nous dirons d'une manière spéciale en quoi elle consiste, ne craignant pas de nous répéter dans l'exposition de cette opération fondamentale, sur laquelle reposent directement la plupart des recherches ayant pour but d'arriver à la connaissance de la distance du Soleil à la Terre. Supposons donc que nous sommes placés d'un côté d'une rivière que nous ne pouvons franchir, et que nous voulons mesurer la distance qui nous sépare d'un objet, tel qu'un arbre ou un clocher, que nous apercevons de l'autre côté de la rivière. Pour plus de commodité, appe-

lons A le point où nous sommes placés, et C le point, arbre ou clocher, dont nous voulons trouver la distance au point A. Nous commençons par choisir, sur le terrain qui environne le point A, en deçà de la rivière, et non sur la direction AC, un troisième point B d'où l'on puisse facilement apercevoir les points A et C et dont on puisse aussi mesurer facilement la distance au point A. Les trois points A, B, C, considérés ensemble, forment un triangle dans lequel AC est le côté inconnu dont on se propose de trouver la grandeur. Pour cela, on mesure la longueur du côté AB; puis, se plaçant successivement en chacun des deux points A et B, avec un *graphomètre,* on y mesure l'angle du triangle ABC qui a ce point pour sommet. Dès lors on connaît dans ce triangle le côté AB, et les deux angles A et B qui lui sont adjacents : on peut donc en déduire la longueur du côté inconnu AC, soit par une construction graphique, soit plutôt par le calcul, comme nous l'avons dit ci-dessus. Il est aisé de voir qu'il n'est pas indifférent, pour le succès de l'opération, de prendre, sur le terrain qui environne le point A, tel ou tel point pour former le troisième sommet B du triangle. Ce point doit être tel, que la distance AB ne soit pas trop petite relativement à AC, et aussi que ce côté AB ne se présente pas trop obliquement pour un observateur qui serait placé en C; il faut, en un mot, que l'angle du triangle ABC qui a pour sommet le point inaccessible C ne soit pas trop petit : si cet angle C était petit, la moindre erreur commise dans la mesure de l'un des autres angles A ou B amènerait un déplacement considérable du point d'intersection des deux lignes qui, partant des deux points A, B, doivent aller concourir au point C,

et par suite il en résulterait une erreur très-notable dans l'évaluation de la distance AC.

La méthode que nous venons de rappeler, pour mesurer la distance d'un objet inaccessible, peut être appliquée à la mesure de la distance d'un astre. Supposons que deux astronomes soient placés en deux points différents A et B de la surface de la Terre, points qui doivent être aussi éloignés que possible l'un de l'autre. Si ces deux astronomes, munis d'instruments convenables, visent à un même instant un astre C, et mesurent en même temps les angles que les lignes AC, BC, suivant lesquelles ils voient l'astre, font avec la ligne droite AB joignant les points où ils sont placés, ils auront tout ce qui est nécessaire pour la détermination de la distance de l'astre au point A ou au point B : car la longueur de la distance rectiligne AB doit être considérée comme connue, la connaissance des positions géographiques des points A et B permettant de trouver le rapport de cette distance rectiligne au rayon de la Terre que nous prenons pour unité.

Dans ce que nous venons de dire, nous avons supposé implicitement, il est vrai, que du point A on peut voir le point B, et aussi que de ce second point B on peut voir le point A. Comme ces points doivent être pris très-loin l'un de l'autre sur la surface de la Terre, cette condition ne peut pas être remplie : la ligne droite qui joint les deux points est une corde dirigée à l'intérieur du globe terrestre et à travers sa masse. Mais si l'interposition de la masse terrestre empêche de viser directement le point B du point A, et le point A du point B, on conçoit que, par la connaissance que l'on a des longitudes et latitudes géographiques des deux points

A et B, on ait pu fixer à l'avance, en chacun de ces deux points, la direction de la ligne droite qui va passer par l'autre point, de manière à pouvoir viser suivant cette ligne droite, tout aussi bien que si, la masse de la Terre étant transparente, on pouvait apercevoir le point situé à l'autre bout de la ligne.

Si les deux lieux d'observation A et B étaient *pris au hasard* sur la surface de la Terre, et si l'astre C était observé simultanément de ces deux points *à un instant quelconque*, l'opération que nous venons d'indiquer, bien qu'étant possible en toute rigueur, présenterait cependant de telles difficultés dans l'exécution, qu'elle ne pourrait conduire à aucun résultat précis. Pour rendre l'exécution de cette opération plus facile, et réalisable avec succès, on choisit deux lieux d'observation A et B situés sur un même méridien terrestre, par exemple Berlin en Europe et le Cap de Bonne-Espérance au sud de l'Afrique (1); et en outre on observe de ces deux lieux l'astre C dont on veut obtenir la distance à la Terre, à l'instant précis où le centre de cet astre, par suite du mouvement diurne, vient se placer dans le méridien céleste commun à ces deux lieux d'observation. Le triangle ABC, au moment de l'observation, est situé tout entier dans le plan de ce méridien céleste, qui contient en même temps les verticales des deux lieux A, B, et le centre de la Terre où ces verticales se rencon-

(1) Berlin et le Cap de Bonne-Espérance, d'où des observations de cette nature ont réellement été faites, ne sont pas exactement sur un même méridien terrestre; mais, à l'aide d'une petite correction facile à calculer, on ramène sans peine les résultats immédiats de l'observation à ce qu'ils seraient si cette condition était remplie.

trent (1). Dès lors, au lieu de mesurer aux deux points A et B les angles que les lignes AC et BC font avec la direction de la corde terrestre AB, on mesure les angles que ces deux lignes menées à l'astre C font avec les verticales des lieux d'observation d'où elles partent; en d'autres termes, on mesure les *distances zénithales* de l'astre C, à l'instant où cet astre traverse le méridien de chacun des deux lieux d'observation. Pour avoir l'angle A du triangle ABC, il suffit de retrancher la distance zénithale de l'astre, obtenue par l'observation faite en A, de l'angle que la verticale du point A fait avec la corde terrestre AB, angle qu'il est facile de trouver à l'aide des latitudes géographiques des deux points A et B; et de même pour l'angle B du triangle ABC. L'opération destinée à fournir les éléments nécessaires à la détermination de la distance de l'astre à la Terre se trouve ainsi ramenée à un grand degré de simplicité : elle se réduit à *mesurer, en même temps, dans les deux lieux* A *et* B *choisis comme nous l'avons dit, les distances zénithales de l'astre* C *à l'instant où le centre de cet astre se trouve dans le méridien de chacun de ces deux lieux,* opération pour laquelle on possède, dans les observatoires, des instruments d'une grande précision.

La connaissance des deux angles A et B du triangle ABC entraîne celle du troisième angle C de ce triangle, puisque, pour l'obtenir, il suffit de retrancher de 180 degrés la somme des deux premiers. Ce troisième angle n'est autre

(1) Nous raisonnons comme si la Terre était rigoureusement sphérique. On tient compte en réalité, lorsque cela est nécessaire, du léger aplatissement de la surface du globe terrestre; mais il n'y a pas lieu de s'arrêter ici à cette question de détail.

chose que l'angle sous lequel, étant placé au centre de l'astre C, on verrait la corde terrestre AB, c'est-à-dire la distance rectiligne des deux lieux d'observation pris sur la Terre. Cet angle C est toujours très-petit, parce que les astres sont tous très-loin de la Terre. C'est pour le rendre le moins petit possible, qu'on doit prendre les deux lieux d'observation A et B très-loin l'un de l'autre; mais, quoi qu'on fasse, on ne peut pas rendre la distance AB de ces deux points plus grande que le diamètre du globe terrestre; disons même que, la plupart du temps, on doit se contenter de lieux d'observation dont la distance est notablement moindre que ce diamètre. La petitesse inévitable de l'angle C fait que la triangulation dont il s'agit s'effectue dans des conditions défavorables, ainsi que nous l'avons dit plus haut; ce n'est qu'à force de précautions et de soins minutieux dans la mesure des angles aux deux points A et B, qu'on parvient à atténuer l'influence de ces circonstances fâcheuses, de manière à obtenir pour la distance de l'astre C à la Terre une valeur qui ne soit pas trop défectueuse.

Pour comparer entre eux les résultats obtenus à diverses époques et par différents observateurs, relativement à un même astre dont il s'agit de trouver la distance à la Terre, on ramène par le calcul toutes les données des observations à ce qu'elles seraient dans un cas idéal que voici. On imagine que les deux lieux d'observation A et B soient pris, l'un A à la surface de la Terre, l'autre B au centre même du globe terrestre; et en outre on suppose que le point A soit choisi sur la Terre de telle manière qu'au moment de l'observation de l'astre C, faite en même temps des deux

points A et B, cet astre se trouve dans le plan de l'horizon du point A : de sorte que le triangle ABC dont nous avons déjà parlé bien des fois devient alors un triangle rectangle, puisque le côté AB, rayon de la Terre aboutissant au point A, est perpendiculaire au côté AC dirigé dans le plan de l'horizon de ce point A. L'hypoténuse BC de ce triangle rectangle est précisément la distance cherchée de l'astre C au centre de la Terre ; de sorte qu'il suffit de connaître les angles de ce triangle, ce qui se réduit à la connaissance d'un seul de ses deux angles aigus, pour en déduire tout de suite le rapport de la distance BC au rayon de la Terre AB. Si l'observation pouvait se faire réellement dans les conditions spéciales que nous venons d'indiquer, les observateurs étant placés l'un au point A de la surface de la Terre, l'autre au centre B du globe terrestre, et l'astre C étant dans le plan de l'horizon du point A, cette observation donnerait directement l'angle B, formé par la ligne BC allant de l'astre au centre de la Terre avec le rayon terrestre AB, et l'angle A qui est droit ; en réalité, comme nous l'avons dit, on déduit ces données, qui se réduisent à la seule valeur de l'angle B, des observations faites en deux points situés tous deux sur la Terre, loin l'un de l'autre, et sur un même méridien terrestre. L'angle C du triangle particulier ABC dont nous parlons, c'est-à-dire l'angle qui a son sommet à l'astre et qui est opposé au côté AB, rayon terrestre aboutissant au point A, s'obtient, comme nous l'avons dit, en retranchant de 180 degrés la somme des deux angles A et B. La connaissance de cet angle C seul suffit pour que la forme du triangle ABC soit connue, et pour qu'on puisse en déduire le rapport de la

distance BC de l'astre au rayon AB de la Terre ; ou, ce qui est la même chose, la valeur numérique de la distance BC quand on prend le rayon AB pour unité. Plus cet angle C est petit, plus la distance BC de l'astre est grande. Cet angle C, dont la connaissance équivaut à celle de la distance BC, est désigné par les astronomes sous le nom de *parallaxe* de l'astre qui est en C. Les observations de diverses natures dont nous avons à parler sont faites directement en vue de déterminer les parallaxes des divers astres, et en particulier la parallaxe du Soleil ; les distances de ces astres à la Terre se déduisent des valeurs de leurs parallaxes, par une opération trigonométrique des plus simples, ainsi que cela résulte de ce qui précède.

Plaçons-nous à un autre point de vue. Imaginons que du centre d'un astre C nous menions une ligne droite CB au centre B de la Terre, et que du même centre de l'astre C nous menions de part et d'autre deux tangentes CA, CA' à la surface du globe terrestre, dans un même plan passant par la ligne centrale CB. L'angle que cette ligne centrale CB fait avec chacune des deux tangentes CA, CA' est ce que nous venons de désigner sous le nom de parallaxe de l'astre C ; mais l'angle total formé par les deux tangentes CA, CA' entre elles n'est autre chose que le diamètre apparent de la Terre vue du point C : nous pouvons donc dire que *la parallaxe d'un astre, c'est la moitié du diamètre apparent de la Terre vue de cet astre*. Nous pouvons dire encore que la parallaxe d'un astre, c'est l'angle sous lequel le rayon de la Terre serait vu *de face* par un observateur placé au centre de l'astre.

Pour bien fixer les idées, pour que nous sachions bien

désormais quelle est la correspondance qui existe entre la parallaxe d'un astre et sa distance au centre de la Terre, nous dirons que :

Quand la parallaxe est de

1°,	la distance de l'astre est de	57	rayons terrestres,
1′	—	3438	—
30″	—	6875	—
20″	—	10313	—
10″	—	20626	—
5″	—	41253	—
1″	—	206265	—

On peut constater, sur ces nombres, que la distance de l'astre à la Terre varie en raison inverse de la grandeur de sa parallaxe ; mais cela n'est vrai que pour de petites valeurs de la parallaxe : si la parallaxe était de plusieurs degrés, cette proportionnalité inverse n'existerait plus.

Résultats obtenus par l'application de la méthode précédente.

Revenons aux observations astronomiques qui doivent être faites simultanément en deux points éloignés de la Terre, situés sur un même méridien de sa surface, pour arriver à la détermination de la parallaxe d'un astre, et voyons quels sont les résultats qu'on a pu tirer des observations de ce genre, faites à diverses époques.

Nous dirons tout d'abord qu'en appliquant ce genre d'observation aux étoiles, on n'a jamais pu trouver la moindre valeur pour leur parallaxe ; les étoiles se comportent comme si leurs distances à la Terre étaient infinies, comme si toutes les lignes droites menées des différents

points de la Terre au centre de l'une quelconque d'entre elles étaient rigoureusement parallèles. On a reconnu, en effet, en employant d'autres moyens dont nous n'avons pas à nous occuper ici, que les distances qui nous séparent des diverses étoiles sont tellement grandes, et par conséquent que les parallaxes de ces étoiles sont tellement petites, que ces parallaxes doivent échapper par leur petitesse à tous nos moyens d'observation. Les étoiles sont donc pour nous comme si leurs diverses parallaxes étaient toutes nulles (1), c'est-à-dire comme si elles étaient toutes infiniment éloignées de nous.

Il résulte de cette circonstance une chose extrêmement précieuse pour la mesure de la parallaxe d'un astre par le moyen indiqué ci-dessus. Nous avons dit que les observations à faire simultanément dans les deux lieux d'observation A et B consistaient dans la mesure des distances zénithales de l'astre C à l'instant où son centre traverse le plan méridien de chacun d'eux. Au lieu de cela, mesurons dans les deux lieux A et B les distances angulaires du centre de l'astre C à une étoile voisine E qui passe en même temps que lui dans le plan méridien. Les deux lignes droites qui vont de chacun des deux points A et B à l'étoile E sont pa-

(1) Il faut bien se garder de confondre la parallaxe dont nous parlons ici avec ce qu'on nomme la *parallaxe annuelle* d'une étoile. D'après ce que nous avons dit plus haut, la parallaxe d'une étoile, c'est l'angle sous lequel, étant placé au centre de l'étoile, on verrait de face le rayon du globe terrestre ; la parallaxe annuelle de l'étoile, au contraire, c'est l'angle sous lequel, étant placé au même point, on verrait de face la distance du Soleil à la Terre. Cette dernière parallaxe, insensible pour la plupart des étoiles, est à peine appréciable pour celles qui sont le moins éloignées de nous : la parallaxe ordinaire, incomparablement plus petite que la parallaxe annuelle, peut donc être regardée comme nulle pour toutes les étoiles.

rallèles, en raison de l'immense éloignement de l'étoile ; la différence des distances angulaires de l'astre C à l'étoile E, mesurées dans les deux lieux A et B sera donc la différence des angles que les lignes AC et BC font avec une même direction AE ou BE, c'est-à-dire que ce sera l'angle que ces deux lignes AC et BC font entre elles à leur point de rencontre qui est le centre de l'astre C : en d'autres termes, cette différence des distances angulaires de l'astre C à l'étoile voisine E, mesurées dans les deux lieux A et B, sera précisément la valeur du petit angle C du triangle ABC, angle qu'il s'agit surtout d'avoir avec exactitude pour en déduire la valeur exacte de la parallaxe de l'astre. Or, cette substitution de la mesure des distances angulaires de l'astre C à l'étoile voisine E, dans chacun des deux lieux d'observation A et B, à la mesure des distances zénithales de l'astre C dans chacun de ces deux lieux, fait disparaître une des plus grandes difficultés que présente le genre de recherches dont nous nous occupons. Sans parler d'autres particularités qui ne manquent pas d'importance dans une question aussi délicate, il nous suffira de dire que, en chacun des deux lieux A et B, la distance zénithale de l'astre C est altérée par la *réfraction* des rayons de lumière dans l'atmosphère de la Terre, et qu'on doit en conséquence faire subir à chaque distance zénithale observée une correction destinée à faire disparaître cette altération, correction qui comporte toujours une incertitude plus ou moins grande ; tandis que, l'astre C et l'étoile voisine E étant placés dans la même région du ciel, les rayons lumineux qui en viennent, soit en A, soit en B, éprouvent dans l'atmosphère terrestre des déviations égales, de sorte que la distance an-

gulaire de ces deux astres n'est pas altérée, et peut s'obtenir par une mesure directe tout aussi exactement que si l'atmosphère de la Terre n'existait pas.

En réfléchissant à la méthode exposée ci-dessus pour déterminer la distance d'un astre à la Terre, on reconnaît qu'en somme cette méthode repose essentiellement sur ce que l'astre ne se voit pas dans la même direction, suivant qu'on l'observe de tel ou tel point de la surface du globe terrestre ; le changement de direction de la ligne qui va du lieu d'observation à l'astre, quand on se déplace d'une quantité déterminée sur cette surface, est plus ou moins grand suivant que l'astre est plus ou moins rapproché de la Terre : c'est la mesure de ce changement de direction qui conduit directement à la connaissance de la distance de l'astre. Or, les étoiles n'éprouvent nullement le changement de direction dont nous parlons, de quelque point de la surface de la Terre qu'on les observe ; il s'ensuit qu'elles constituent pour nous autant de points de repère fixes, disséminés en très-grand nombre sur toute l'étendue de la sphère céleste, ce qui nous facilite singulièrement la mesure du changement de direction de la ligne suivant laquelle on voit l'astre de divers points de la Terre.

Si la méthode développée plus haut ne conduit à aucun résultat quand il s'agit des étoiles, elle en fournit un, au contraire, d'une grande précision, quand on l'applique à la Lune, celui de tous les astres qui est le plus rapproché de nous. Aussi la parallaxe de la Lune, et par suite sa distance à la Terre, sont-elles connues depuis longtemps avec une approximation qui a dû aller, bien entendu, en augmentant à mesure que les moyens d'observation se sont

perfectionnés, mais qui était déjà bien grande à des époques très-éloignées de nous, eu égard au peu de précision des instruments employés alors. On s'en fera une idée par le passage suivant, emprunté à l'*Astronomie* de Lalande (2e édit., t. II, p. 361) :

« Pythagore jugeait la distance de la Lune à la Terre de « 126 000 stades, et comme le stade était d'environ 95 toises, « cette distance ne va pas à 6 000 lieues, au lieu de 80 000 « que nous trouvons actuellement ; d'où l'on peut juger « qu'au temps de Pythagore, 612 ans avant J.-C., on n'a- « vait encore fait aucune observation propre à déterminer « cette distance.

« Hipparque, au rapport de Ptolémée, avait entrepris, « par de certaines conjectures tirées des éclipses, de trou- « ver les distances de la Lune à la Terre ; mais, par la diffi- « culté et l'incertitude de sa méthode, il avait trouvé des « différences considérables dans ses résultats. Cependant, « on voit qu'il jugeait la plus grande distance de la Lune « entre $72\frac{1}{2}$ et 83 demi-diamètres de la Terre, et la plus « petite entre 62 et 71. Ces limites sont établies aujour- « d'hui de 56 à 64 ; Hipparque avait donc de la parallaxe « une idée beaucoup plus exacte qu'on ne l'avait eue « avant lui.

« La distance de la Lune, suivant Posidonius, était de « 2 millions de stades ; cette distance revient à 87 165 « lieues, et elle approche beaucoup de celle que nous trou- « vons aujourd'hui.

« . . . .

« Ptolémée observa la Lune par le moyen de ses règles « parallactiques, lorsqu'elle était dans le tropique d'été,

« à 2 $\frac{1}{2}$ degrés du zénith d'Alexandrie, et lorsqu'elle était « dans le tropique d'hiver, à 50° 55'; et il trouva, par le « moyen de ses Tables, que, dans le temps de cette der- « nière observation, la Lune n'était véritablement qu'à « 49° 48' du zénith (1), d'où il conclut une parallaxe de « 67 minutes ; enfin il détermina la plus grande distance de « la Lune de 64 demi-diamètres et la plus petite de 34, « c'est-à-dire la parallaxe entre 54 minutes et 1° 41'.

« Les Arabes ne corrigèrent point les erreurs de Ptolé- « mée en cette partie ; mais Alphonse, roi de Castille, di- « minua beaucoup cette parallaxe. Copernic détermina en- « suite, par des observations faites en 1522, les distances « de la Lune de 68 et 52 demi-diamètres terrestres, ou la « parallaxe entre 50 minutes et 66 minutes ! On ne saurait « faire un plus bel éloge de son travail qu'en disant que « Tycho, après un grand nombre de bonnes observations, « faites soixante ans après, avec une prodigieuse collec- « tion d'instruments, ne trouvait rien à changer à la plus « grande parallaxe de Copernic ; il se contenta d'augmen- « ter la plus petite parallaxe jusqu'à 56 $\frac{3}{4}$ minutes.

« On verra, dans l'*Almageste* de Riccioli, et dans un Mé- « moire que j'ai donné sur la parallaxe de la Lune, les sen- « timents de différents auteurs sur la parallaxe : voici une « Table où ces diverses opinions sont rapprochées.

(1) C'est-à-dire pour un observateur qui serait placé au centre de la Terre, et qui la rapporterait au même zénith d'Alexandrie.

TABLE DES PARALLAXES DE LA LUNE

SELON DIFFÉRENTS ASTRONOMES.

NOMS DES AUTEURS.	LA PLUS GRANDE PARALLAXE.	LA PLUS PETITE PARALLAXE.
Hipparque, 120 ans avant J.-C.	48′ 30″	41′ 30″
Le même, par d'autres observations..	55 30	47 30
Ptolémée, 147 ans après J.-C.	103 0	53 34
Alphonse, roi de Castille, en 1284.	63 17	53 19
Copernic, mort en 1543.	65 48	50 19
Tycho, mort en 1601.	65 36	56 44
Képler, dans ses Éphémérides, 1616.	60 58	54 41
Le même, dans ses Tables Rudolphines, 1627. .	63 41	58 22
Bouillaud, en 1645.	63 43	53 30
Riccioli, en 1651.	66 56	51 32
M. de La Hire, en 1702.	61 25	52 17
M. Halley, en 1719.	61 7	53 29
M. Cassini, en 1740.	62 11	54 33
M. Le Monnier, *Inst. astr.*, 1746.	61 8	53 29
M. Euler, dans ses Tables, en 1760.	61 15	52 42
Suivant les Tables de M. Mayer.	61 32	53 57
Suivant mes observations.	61 29	53 51

Les nombres donnés par Lalande à la dernière ligne de ce tableau sont déduits des observations faites en même temps par lui à Berlin, et par La Caille au Cap de Bonne-Espérance, en 1751 et 1752. Ces valeurs extrêmes de la parallaxe de la Lune n'ont pas été notablement modifiées par les nouvelles déterminations effectuées depuis 1752 jusqu'à ce jour (1). La parallaxe de 61′29″ correspond à une dis-

(1) La distance de la Lune à la Terre, et la parallaxe qui correspond à cette distance, éprouvent des variations continuelles et très-complexes, en raison

tance de 55,9 rayons terrestres; celle de 53′51″ à une distance de 63,8 rayons terrestres : la moyenne de ces deux distances extrêmes de la Lune au centre de la Terre est 59,85 rayons terrestres, ou, en nombre rond, 60 de ces rayons.

Outre la Lune, il n'y a guère que deux astres auxquels on puisse également appliquer la méthode dont nous nous occupons pour la détermination des parallaxes : ce sont les deux planètes Mars et Vénus. Encore doit-on pour cela faire l'observation de ces planètes dans des circonstances spéciales, ainsi que nous le dirons plus tard, si l'on veut obtenir un résultat quelque peu précis, résultat qui, dans tous les cas, est très-loin de pouvoir atteindre le degré de précision auquel on parvient dans le cas de la Lune. Pour le Soleil, en particulier, l'emploi de cette méthode ne peut conduire à aucun résultat acceptable, lors même qu'on se contenterait d'une grossière approximation; parce que, d'une part, la parallaxe du Soleil étant certainement inférieure à 9 secondes, les diverses causes d'erreur de l'opération, telle que nous l'avons indiquée, auraient une trop grande influence sur un nombre aussi petit; et que, d'une

des nombreuses inégalités dont le mouvement de la Lune est affecté. A chaque révolution de la Lune autour de la Terre, la distance de cet astre augmente jusqu'à un certain maximum, puis diminue jusqu'à un certain minimum, pour augmenter de nouveau ; mais ces maxima et minima alternatifs ne restent pas les mêmes : ils varient d'une révolution à une autre. Ce qu'on peut dire de plus précis à cet égard, c'est que la valeur de la parallaxe de la Lune est représentée par une formule comprenant : 1° une partie constante; 2° une série de termes variant périodiquement avec le temps, et prenant successivement des valeurs tantôt positives, tantôt négatives ; et que la valeur de la partie constante a été fixée récemment par M. Breen à 57′ 2″,7 à l'aide d'observations faites simultanément en Europe et au Cap de Bonne-Espérance.

autre part, l'avantage résultant de la substitution de la mesure de la distance comprise entre l'astre et une étoile voisine, à la mesure des distances zénithales de l'astre dans les deux lieux d'observation, ne peut être obtenu ici, en raison de ce que le Soleil, par sa grande lumière, empêche complétement de voir les étoiles qui sont peu éloignées du bord de son disque étincelant.

Deuxième méthode pour la détermination de la distance d'un astre par la mesure de sa parallaxe.

Avant de passer à l'examen des divers moyens qui ont été imaginés pour suppléer à l'insuffisance absolue de la méthode précédente, quand il s'agit de la détermination de la parallaxe du Soleil, nous devons dire encore que la recherche directe de la parallaxe d'un astre peut s'effectuer aussi par une autre méthode basée sur les mêmes principes que la première, mais supposant des observations faites dans des conditions totalement différentes. Suivant la première méthode, deux astronomes doivent se placer en deux points situés sur un même méridien terrestre, et loin l'un de l'autre, pour observer l'astre en même temps de ces deux points. Admettons qu'au lieu de cela les deux astronomes se placent en deux points différents A et B de l'équateur de la Terre, aussi très-éloignés l'un de l'autre, et qu'à un même instant ils y observent l'astre C, que nous supposerons situé à cet instant en un point de l'équateur céleste. Tout sera pareil dans ce nouveau genre d'observation et dans l'ancien, si ce n'est que le triangle ABC sera

contenu dans le plan de l'équateur céleste, au lieu de se trouver dans le plan méridien commun aux deux lieux A, B. On n'aura donc qu'à mesurer les distances zénithales de l'astre C dans ces deux lieux d'observation A et B ; et si, à la connaissance des valeurs de ces distances zénithales, on joint celle de la différence de longitude des deux points A et B, on pourra en déduire la valeur de la parallaxe de l'astre C, tout aussi bien qu'on la déduit des données analogues obtenues dans le cas où les deux lieux A et B sont situés sur un même méridien. Cette nouvelle manière de procéder à la détermination de la parallaxe de l'astre C présenterait de sérieuses difficultés d'exécution, surtout pour satisfaire à la condition que les observations faites dans les deux lieux A et B soient bien exactement simultanées, ce qui est de la plus grande nécessité pour sa réussite ; mais nous pouvons la modifier et la rendre tout à fait praticable en remplaçant les deux observateurs par un seul, et profitant pour cela du mouvement de rotation du globe terrestre, mouvement en vertu duquel cet observateur unique est amené successivement, dans l'espace d'un jour sidéral, à occuper les divers points d'un cercle dirigé suivant l'équateur de la Terre. L'emploi des étoiles comme points de repère fixes sur la voûte céleste, pour comparer les directions suivant lesquelles l'astre C est vu de deux points différents de l'équateur terrestre, contribue aussi puissamment à rendre l'opération réalisable avec succès.

Admettons pour un instant que l'astre C, que nous avons déjà supposé en un point de l'équateur de la sphère céleste, n'ait pas de mouvement propre sur cette sphère. Vu du centre de la Terre, cet astre paraîtrait toujours occu-

per la même position par rapport aux étoiles qui l'environnent; en vertu du mouvement diurne il semblerait, comme ces étoiles, tourner uniformément autour de l'axe du monde, sans qu'il y eût la moindre altération dans la distance angulaire qui le sépare de chacune d'elles. Mais il n'en serait plus de même pour un observateur placé sur la Terre, en un point A de l'équateur. Si les diverses étoiles sont vues du point A exactement dans les mêmes directions que du centre de la Terre, l'astre C est vu de ce point A successivement suivant des directions différentes, à mesure que la rotation de la Terre déplace le point A sur le cercle équatorial qu'elle lui fait décrire. Considérons spécialement l'instant où l'astre C se lève, c'est-à-dire l'instant où, en vertu du mouvement diurne, il se trouve placé dans le plan de l'horizon du point A, du côté de l'orient. Vu du centre de la Terre à cet instant, il paraîtrait plus haut, plus rapproché du zénith qu'il ne l'est pour un observateur placé en A; dans de pareilles circonstances, la quantité dont la distance de l'astre C au zénith augmente, lorsque l'observateur passe du centre de la Terre au point A, n'est autre chose que ce que nous avons nommé *parallaxe* de l'astre C. Cette augmentation de la distance de l'astre au zénith, pour le changement de position de l'observateur dont nous venons de parler, serait rendue très-sensible par la comparaison de l'astre C à une étoile voisine E, située comme lui sur l'équateur céleste, et au-dessus de lui par exemple, au moment où l'astre se lève : la distance zénithale de l'étoile étant la même au point A et au centre de la Terre, la distance de l'astre C à cette étoile, vue du point A, serait plus grande que la même distance vue du centre

de la Terre, et cela précisément d'une quantité égale à la parallaxe de l'astre C. Passons maintenant de l'instant du lever de cet astre C à l'instant où, par suite du mouvement diurne, il est amené au zénith du point A; la direction suivant laquelle il apparaît alors à l'observateur placé en A est exactement la même que celle suivant laquelle il serait vu du centre de la Terre; la distance de l'astre C à l'étoile de comparaison E est donc aussi la même, soit qu'on observe cette distance du point A, soit qu'on l'observe du centre de la Terre : donc cette distance de l'astre C à l'étoile E, vue du point A, a diminué d'une quantité égale à la parallaxe de l'astre, depuis l'instant de son lever jusqu'à l'instant de son passage au zénith du lieu. Suivons encore l'astre C dans son mouvement diurne jusqu'au moment de son coucher; dans cette nouvelle position, l'astre paraît encore, vu du point A, à une plus grande distance du zénith que vu du centre de la Terre, et cela d'une quantité égale à sa parallaxe; il semble donc s'être encore rapproché d'autant de l'étoile E, qui, le précédant toujours dans le sens du mouvement diurne, se trouve maintenant audessous de lui. Ainsi, pour l'observateur placé en A, la distance de l'astre C à l'étoile voisine E a diminué d'une quantité égale à la parallaxe de cet astre C, depuis son lever jusqu'à son passage au zénith du lieu; elle a diminué encore de la même quantité depuis ce dernier instant jusqu'à son coucher : elle a donc diminué, en tout, du double de la parallaxe de l'astre. Lorsque l'astre C se lève de nouveau au point où il s'était levé la veille, sa distance à l'étoile de comparaison E est redevenue ce qu'elle était lors de ce premier lever; elle a donc augmenté, du coucher au second

lever, de la quantité dont elle avait diminué du premier lever au coucher. La continuation du mouvement diurne ramène exactement les mêmes circonstances, qui se reproduisent ainsi indéfiniment.

Si l'on a bien saisi ce qui vient d'être expliqué, on comprendra tout de suite qu'il en résulte un moyen très-simple pour déterminer la parallaxe de l'astre C. Placé, comme nous l'avons supposé, en un point A de l'équateur de la Terre, on mesure la distance de l'astre C à une étoile voisine, située comme lui sur l'équateur céleste, et au-dessus de lui, au moment où l'astre et l'étoile viennent de se lever ; au bout de douze heures environ, on mesure de nouveau, du même point A, la distance de l'astre et de l'étoile au moment où ils sont sur le point de se coucher; la différence des deux valeurs ainsi obtenues pour la distance de l'astre et de l'étoile est le double de la parallaxe de cet astre; il suffit donc de prendre la moitié de cette différence pour avoir la parallaxe cherchée.

Nous avons admis, pour simplifier, que l'astre C n'était animé d'aucun mouvement propre sur la sphère céleste, c'est-à-dire que, du centre de la Terre, il paraîtrait complétement immobile parmi les étoiles. Dans les applications qu'on fait de la méthode dont il s'agit en ce moment, cette condition n'est jamais remplie. Nous pouvons ajouter qu'on ne s'astreint nullement aux autres conditions que nous nous étions imposées, de choisir un point A de l'équateur terrestre pour y observer l'astre C, et d'observer cet astre lorsqu'il se trouve sur l'équateur céleste. Nous nous sommes proposé uniquement de faire comprendre en quoi consiste le principe de la méthode, et c'est pour y arriver

d'une manière plus certaine que nous avons introduit ces restrictions, destinées à rendre les choses aussi simples que possible. En réalité, on opère en un lieu quelconque de la surface de la Terre, et on observe l'astre dont on veut trouver la parallaxe sans se préoccuper de la manière dont il est placé dans le ciel relativement à l'équateur céleste ; on détermine avec précision la position que l'astre paraît occuper par rapport aux étoiles de son voisinage, quelque temps après son lever, et aussi quelque temps avant son coucher ; puis, en tenant compte de la position de l'observateur sur la Terre, de la position de l'astre sur la sphère céleste au moment de ces observations, et du mouvement propre dont l'astre est animé sur cette sphère, on parvient également à déduire la parallaxe de cet astre des données fournies par les observations que nous venons d'indiquer.

Nous pouvons remarquer que cette seconde méthode pour la détermination de la parallaxe d'un astre présente un avantage notable sur la première. Au lieu de deux astronomes, observant simultanément en deux lieux différents et éloignés l'un de l'autre sur la Terre, elle ne suppose qu'un seul astronome, faisant toutes les observations nécessaires en un seul et même lieu de la Terre ; de plus, les mesures prises dans le ciel par cet astronome unique, et avec un seul et même instrument, doivent conduire à un résultat qui soit pour ainsi dire complétement à l'abri des causes d'erreur personnelles et instrumentales, ce qui n'est pas sans importance dans une recherche aussi délicate. Mais il faut dire aussi que cette seconde méthode suppose bien connu le mouvement propre de l'astre dont on cherche la parallaxe, tandis

que la première méthode ne le suppose pas, du moins au même degré.

La nouvelle méthode que nous venons de faire connaître est applicable aux mêmes astres que la première, et la précision des résultats qu'elle fournit est sensiblement la même. Ainsi elle conduit aussi exactement qu'on peut le désirer à la valeur de la parallaxe de la Lune, et peut aussi servir à la détermination des parallaxes des planètes Mars et Vénus ; mais elle ne peut, en aucune manière, être employée pour la détermination directe de la parallaxe du Soleil.

Méthode d'Aristarque pour déduire la distance du Soleil de celle de la Lune.

La grande difficulté, pour ne pas dire l'impossibilité, que présente la détermination directe de la parallaxe du Soleil par les méthodes qui viennent d'être indiquées, tient surtout à la petitesse de cette parallaxe. Le triangle ABC, à l'aide duquel nous l'avons définie, triangle qui a son sommet C au centre du Soleil, son sommet B au centre de la Terre, et qui est rectangle au sommet A placé sur la surface de la Terre, a une figure par trop allongée pour se prêter avantageusement à sa détermination ; il part d'une base AB (rayon de la Terre) trop petite par rapport à son hypoténuse CB (distance du centre du Soleil au centre de la Terre) : la moindre erreur commise sur la mesure de l'angle aigu B, qui diffère à peine d'un angle droit, altère considérablement la position du point où les deux côtés partant

des points A et B doivent par leur rencontre placer le centre C du Soleil.

Les conditions excessivement désavantageuses que présente cette triangulation, destinée à fournir directement la distance du Soleil à la Terre, ont depuis longtemps frappé les astronomes. Pour tourner la difficulté, Aristarque de Samos, vers l'an 264 avant J.-C., eut l'heureuse idée de remplacer la base AB dont nous venons de parler (rayon de la Terre) par une base que nous savons être soixante fois plus grande, par la distance du centre de la Lune au centre de la Terre. C'est toujours à l'aide d'un triangle rectangle ABC, ayant pour hypoténuse la distance du centre B de la Terre au centre C du Soleil, qu'Aristarque se propose de déterminer la longueur de cette distance BC; mais, au lieu de placer le sommet A de l'angle droit sur la surface de la Terre, il le place au centre de la Lune. On comprend tout de suite que ce nouveau triangle se présente dans des conditions beaucoup moins désavantageuses que le premier. Si l'on parvient à mesurer son angle aigu B, la forme du triangle sera complétement connue; on pourra donc en déduire le rapport du côté CB (distance du Soleil à la Terre) au côté AB (distance de la Lune à la Terre); de sorte que, si la longueur de ce dernier côté AB en rayons terrestres est connue, on pourra en conclure tout de suite celle du côté CB.

On peut concevoir à tout instant un triangle ABC ayant son sommet A au centre de la Lune, son sommet B au centre de la Terre et son sommet C au centre du Soleil; mais ce triangle, qui se déforme continuellement à mesure que les corps déplacés à ses trois sommets se déplacent, ne

satisfait pas en général à la condition d'être rectangle en A. L'angle A augmente et diminue alternativement dans le cours de chaque lunaison : entre la nouvelle Lune et le premier quartier, il est obtus et va en diminuant; entre le premier quartier et la pleine Lune, il est devenu aigu et continue à diminuer; de la pleine Lune au dernier quartier, il est encore aigu, mais va en augmentant; enfin, du dernier quartier à la nouvelle Lune, il redevient obtus et augmente encore, pour décroître de nouveau après la nouvelle Lune et repasser par les mêmes variations aux diverses phases de chaque lunaison. Cet angle A est droit aux instants précis du premier quartier et du dernier quartier, c'est-à-dire à ces instants particuliers où le disque de la Lune nous paraît tout juste éclairé dans la moitié de son étendue, où la ligne qui sépare la partie éclairée de la partie obscure est une ligne droite, un diamètre du cercle qui forme le contour de l'astre. En effet, le Soleil éclairant toujours l'hémisphère de la Lune qui est tourné de son côté, le grand cercle qui sert de limite à cet hémisphère éclairé est toujours dans un plan perpendiculaire à la ligne droite qui va du centre C du Soleil au centre A de la Lune; lorsque cette limite circulaire de l'hémisphère éclairé se présente à nous comme une ligne droite, c'est que nous sommes placés dans le plan qui la contient; d'où résulte évidemment que la ligne qui joint alors la Lune A à la Terre B est perpendiculaire à la ligne CA qui va du Soleil à la Lune. Pour l'entière rigueur de ce que nous venons de dire, il faudrait supposer, il est vrai, que nous sommes placés au centre de la Terre pour juger que la ligne de séparation d'ombre et de lumière sur le disque de la Lune se

présente bien à nous comme une ligne droite; mais ce qu'on voit sur le disque de la Lune, étant placé sur la surface de la Terre, ne diffère pas beaucoup de ce qu'on y verrait du centre du globe terrestre, et d'ailleurs il est toujours possible de tenir compte de la différence : nous n'avons donc pas à nous préoccuper de cette cause d'erreur.

En somme, voici en quoi consiste la méthode d'Aristarque. En examinant attentivement la Lune à l'époque du premier quartier ou du dernier quartier, on cherche à reconnaître, aussi exactement que possible, le moment où la ligne qui sépare la partie éclairée du disque de sa partie obscure devient tout à fait une ligne droite; et à cet instant précis, on mesure l'angle compris entre les rayons visuels menés, l'un au centre du Soleil, l'autre au centre de la Lune. On a ainsi l'angle aigu B du triangle ABC dont nous avons parlé ci-dessus, et qui est rectangle en A au centre de la Lune; dès lors la forme de ce triangle est entièrement déterminée, puisqu'on connaît ses trois angles, et on peut en déduire le rapport de l'hypoténuse CB (distance du Soleil à la Terre) au côté AB (distance de la Lune à la Terre).

Les observations auxquelles Aristarque se livra, pour appliquer cette méthode, lui donnèrent pour l'angle aigu B dont nous venons de parler une valeur de 87 degrés. Or, en adoptant cette valeur de 87 degrés pour l'angle B, ce qui donne une valeur de 3 degrés pour l'autre angle aigu C dont le sommet est au centre du Soleil, on trouve que l'hypoténuse BC est égale à environ 19 fois le côté AB. Aristarque en conclut donc que la distance du Soleil à la Terre

est 19 fois plus grande que celle de la Lune à la Terre. La distance de la Lune à la Terre étant de 60 rayons terrestres, il s'ensuivait, pour la distance du Soleil à la Terre, une valeur de 1140 rayons terrestres, et pour la parallaxe du Soleil une valeur de 3 minutes.

Telle est la première notion un peu nette que l'on ait eue sur la distance du Soleil à la Terre. Jusque-là on n'avait à ce sujet que des idées fort imparfaites, ne reposant que sur des conjectures. Ainsi Pythagore, en se basant sur certaines considérations harmoniques, croyait que le Soleil était seulement trois fois plus loin de nous que la Lune; Pline, au contraire, pensait que la distance du Soleil devait être douze fois plus grande que celle de la Lune, parce que la durée de sa révolution autour de la Terre est douze fois plus longue.

Le résultat obtenu par Aristarque fut adopté par tous les astronomes jusqu'à l'époque de Tycho-Brahé et de Képler. La découverte toute récente des lunettes d'approche fournit à ce dernier astronome l'occasion de recommander, dans ses éphémérides pour l'an 1619, de nouvelles recherches tendant à faire une application plus précise de la méthode d'Aristarque à l'aide de ces précieux instruments. Quelques années plus tard en effet, en 1650, Vendelinus observa plusieurs fois à Majorque la distance angulaire du Soleil à la Lune, au moment des quadratures (premier ou dernier quartier), et trouva que cet angle était de plus de 89° 45′ (au lieu de 87 degrés qu'avait trouvés Aristarque); d'où il tira cette conséquence que la parallaxe du Soleil n'était pas de 15 secondes. D'un autre côté, Riccioli, à l'aide d'un grand nombre d'observations du

même genre, trouva que cette parallaxe du Soleil devait être de 28 à 30 secondes.

La méthode d'Aristarque ne peut pas nous mener plus loin que cela ; elle n'est pas susceptible d'une plus grande précision dans son application. En effet, il y a toujours une grande incertitude à reconnaître l'instant précis d'une quadrature. La ligne de séparation d'ombre et de lumière sur la surface de la Lune se déplace lentement, et peut pendant assez longtemps nous présenter l'apparence d'une ligne droite. D'un autre côté, les irrégularités qui existent sur la surface de notre satellite, les montagnes et les vallées qu'on y voit en si grand nombre, font que cette ligne de séparation d'ombre et de lumière est elle-même fort irrégulière ; de sorte que, tout en la voyant d'une manière plus nette quand on l'observe avec une lunette, on ne se trouve pas plus en mesure de décider avec quelque précision l'instant exact de la quadrature. La méthode dont il s'agit, extrêmement précieuse en elle-même, en ce qu'elle a pu depuis longtemps donner aux astronomes une première idée du grand éloignement du Soleil, ne peut donc pas nous suffire ; tout ce que nous pouvons en tirer, c'est que la parallaxe de cet astre ne dépasse pas 30 secondes.

Méthode d'Hipparque, pour trouver la distance du Soleil à la Terre, par l'observation des éclipses de Lune.

Un siècle et demi après qu'Aristarque eut fait connaître la méthode dont nous venons de parler, et le résultat auquel elle l'avait conduit, Hipparque imagina une autre mé-

thode à l'aide de laquelle la distance du Soleil peut être déduite de l'observation des éclipses de Lune. Voyons en quoi elle consiste.

On sait que les éclipses de Lune sont occasionnées par le passage de la Lune dans le cône d'ombre que la Terre projette constamment dans l'espace, du côté opposé au Soleil. Si, lorsque la Lune traverse ce cône d'ombre, juste au milieu de son épaisseur, on observe le moment où elle y entre d'un côté, et celui où elle en sort de l'autre côté, il est clair qu'en tenant compte de la vitesse dont la Lune est animée dans son mouvement, on pourra en conclure la largeur du cône d'ombre de la Terre, à l'endroit où la Lune l'a traversé. C'est cette largeur du cône d'ombre, comparée aux dimensions de la Terre elle-même, qui peut conduire à la connaissance de la distance de la Terre au Soleil.

En effet le Soleil, avec le diamètre apparent de 32 minutes (en moyenne) que nous lui connaissons, doit être plus ou moins gros suivant que nous le supposons placé plus ou moins loin de la Terre; à une distance double, triple,..., de la Terre, il doit avoir un diamètre réel deux fois, trois fois,..., plus grand, pour être toujours vu de la Terre sous ce même angle de 32 minutes. Pour que sa grosseur fût exactement la même que celle de la Terre, il faudrait qu'il fût à une distance de 215 rayons terrestres. C'est là tout ce que peut nous apprendre la valeur du diamètre apparent du Soleil considéré seul ; elle nous fait connaître seulement un rapport entre la grosseur réelle du Soleil et la distance à laquelle il se trouve de nous, sans rien nous indiquer de plus relativement à cette grosseur réelle. Mais il en est tout autrement si, à la connaissance du diamètre ap-

parent du Soleil, nous joignons celle de la largeur de l'ombre de la Terre, mesurée, comme nous venons de le dire, au moment d'une éclipse de Lune.

Nous savons que ce cône d'ombre de la Terre, où la Lune ne peut pas pénétrer sans être éclipsée, s'obtient en imaginant une surface conique qui enveloppe à la fois la Terre et le Soleil, en touchant les surfaces de ces deux corps, chacune suivant une circonférence de cercle ; c'est l'espace situé à l'intérieur de cette surface conique, au-delà de la Terre et du côté opposé au Soleil, qui constitue le cône d'ombre. Cette surface conique, enveloppant à la fois la Terre et le Soleil, a son sommet situé en dehors de ces deux corps, du côté du plus petit des deux, et à une distance de ce dernier qui dépend de leurs grosseurs respectives. Imaginons que le Soleil, tout en conservant son diamètre apparent de 32 minutes, soit successivement placé à diverses distances de la Terre, en prenant chaque fois la grosseur convenable pour avoir toujours ce même diamètre apparent ; et voyons ce qui en résultera pour la forme de la surface conique dont nous venons de parler. Si le Soleil est à peu de distance de la Terre, à une distance beaucoup plus petite que 215 rayons terrestres, il sera beaucoup moins gros que la Terre, et la surface conique qui les enveloppera aura son sommet du côté du Soleil, à peu de distance au delà. Si nous augmentons la distance du Soleil à la Terre, en la laissant toujours au-dessous de 215 rayons terrestres, le Soleil sera de plus en plus gros, tout en restant toujours moins gros que la Terre ; la surface conique s'allongera et son sommet s'éloignera du Soleil sans cesser de se trouver placé de son côté. Si, en éloignant toujours le Soleil de la

Terre, nous le plaçons à une distance de 215 rayons terrestres, il acquerra une grosseur égale à celle de la Terre, et la surface conique qui les enveloppe l'un et l'autre se transformera en une surface cylindrique, qui, prolongée indéfiniment de part et d'autre, présentera partout une même largeur transversale qu'aux points où elle touche les deux globes. Éloignons encore le Soleil, en le faisant grossir en même temps ; dès lors la surface enveloppante reprendra sa forme conique, mais elle aura désormais son sommet du côté de la Terre, et ce sommet ira en se rapprochant de plus en plus à mesure que le Soleil continuera à s'éloigner en grossissant toujours pour conserver le même diamètre apparent. Pendant toutes ces déformations qu'éprouve successivement la surface conique qui enveloppe à la fois la Terre et le Soleil, et par suite le cône d'ombre de la Terre qui est formé d'une portion de cette surface conique, considérons la largeur de ce cône d'ombre à la distance de la Lune, c'est-à-dire au point où notre satellite vient le traverser au moment d'une éclipse. Cette largeur du cône d'ombre, plus grande d'abord que le diamètre du globe terrestre, lorsque le Soleil est à une distance moindre que 215 rayons de ce globe, va en diminuant progressivement à mesure que le Soleil s'éloigne ; devient précisément égale au diamètre de la Terre, lorsque la distance du Soleil atteint la valeur de 215 rayons terrestres ; puis continue à décroître de plus en plus, à mesure que la distance du Soleil augmente encore. Si, parmi toutes ces valeurs attribuées successivement à la distance du Soleil, on choisit celle pour laquelle la largeur du cône d'ombre est précisément telle qu'on l'a trouvée par l'observation d'une éclipse,

cette distance sera évidemment celle qui existe en réalité entre le Soleil et la Terre. Les calculs à faire, pour réaliser cette conception, ne présentent pas la moindre difficulté.

Dans les applications, l'emploi de cette méthode d'Hipparque ne conduit à rien de précis. Voici quelles en sont les raisons. D'abord le commencement et la fin d'une éclipse de Lune ne peuvent pas être observés avec une grande exactitude. En effet, la Lune, avant de s'éclipser complétement, perd peu à peu de sa lumière, en raison de ce que la Terre, en s'interposant entre elle et le Soleil, lui masque progressivement la surface de cet astre; et de même, lorsque la Lune sort du cône d'ombre, la lumière qu'elle commence à recevoir du Soleil, d'abord très-faible, augmente peu à peu à mesure que la Terre démasque une plus grande partie du disque lumineux : l'observation de l'instant précis auquel la Lune entre dans le cône d'ombre, ou en sort, doit donc présenter une grande indécision. De plus, la présence de l'atmosphère qui environne la Terre, et qui intercepte ou réfracte les rayons solaires passant près de la surface du globe terrestre, contribue encore à diminuer la netteté du commencement et de la fin de l'éclipse. D'un autre côté, pour une distance aussi grande que l'est en réalité la distance du Soleil à la Terre, une variation considérable dans la valeur de cette distance n'amènerait qu'un changement extrêmement petit dans la largeur du cône d'ombre au point où la Lune le traverse ; de sorte que, pour une réussite même très-imparfaite de la méthode, cette largeur du cône d'ombre aurait besoin d'être mesurée avec une grande précision, et nous venons de voir que c'est tout le contraire qui arrive. Aussi la méthode dont il

s'agit, bien qu'elle ait été employée par un grand nombre d'astronomes tels que Ptolémée, Albaténius, Regiomontanus, Copernic, Longomontanus, Bouillaud, etc., n'a-t-elle jamais fourni des résultats bien concluants. Nous n'en avons parlé ici que pour mieux montrer dans quel embarras les astronomes se sont trouvés pendant longtemps, pour obtenir une valeur un peu exacte de la distance du Soleil à la Terre, et quels efforts ils ont faits successivement dans des voies diverses, pour arriver à la solution de ce difficile problème.

Détermination de la parallaxe du Soleil, par l'observation de la parallaxe d'une planète (Mars ou Vénus).

Le perfectionnement immense que la découverte des *lois de Képler* apporta aux théories astronomiques fournit aux astronomes de nouvelles ressources pour arriver à la connaissance de la parallaxe du Soleil, et par conséquent de la distance de cet astre à la Terre. Ces lois faisaient connaître à la fois la nature des orbites décrites par les diverses planètes autour du Soleil, et le mode de variation de la vitesse de chacune d'elles aux divers points de son orbite ; elles établissaient, en outre, une liaison intime entre les dimensions de ces diverses orbites et les temps employés par les planètes à en parcourir tout le contour : il en résultait donc une connaissance complète de la figure qu'affecte l'ensemble de ces orbites dans l'espace, et des grandeurs relatives de ses diverses parties. En choisissant arbitrairement une certaine longueur pour représenter

une quelconque des dimensions de ce système d'orbites, on aurait pu construire sur cette longueur prise comme base une figure *semblable* à celle du système, c'est-à-dire une figure dont toutes les dimensions auraient été dans un même rapport de grandeur avec les dimensions correspondantes du système des orbites planétaires. On était en mesure, en un mot, de faire la *carte* (1) fidèle du système planétaire, comme on fait sur la Terre la carte d'une portion plus ou moins grande de terrain. Il n'eût manqué à cette carte qu'une seule chose : la connaissance de l'*échelle* à laquelle elle aurait été construite, ou, en d'autres termes, la connaissance du rapport de grandeur existant entre une quelconque des dimensions du système planétaire et la dimension correspondante de la carte. D'après ce que nous avons dit au commencement de cette Notice, c'est précisément pour connaître cette échelle que nous nous proposons de mesurer la distance du Soleil à la Terre, distance qui doit nous servir de base pour l'évaluation de toutes les autres longueurs que l'on peut avoir à considérer dans les espaces célestes. Mais si, parmi toutes les lignes que l'on peut imaginer tracées entre deux points de ce système d'orbites, il s'en trouve quelques-unes qui se prêtent plus facilement à une mesure directe que la ligne qui va du Soleil à la Terre, on comprend qu'il y aura avantage à tourner ses efforts vers la mesure directe de ces lignes spéciales ; et quand on sera parvenu à en déterminer la grandeur, on en conclura sans peine celle de la ligne qui joint la

(1) Pour être complétement dans le vrai, il faut entendre ici qu'il s'agit d'une *carte en relief*, puisque le système des orbites des planètes n'est pas situé tout entier dans un plan.

Terre au Soleil, puisque, ainsi que nous l'avons dit plus haut, on connaît les rapports de grandeur de toutes les dimensions du système.

Représentons-nous par la pensée la figure qu'affecte l'ensemble des orbites des planètes. Nous voyons le Soleil immobile au milieu du système ; et autour de lui les diverses planètes décrivant, dans des plans très-peu inclinés les uns sur les autres, des ellipses d'une faible excentricité, ayant chacune le centre du Soleil pour un de ses foyers. Pour simplifier, nous pouvons faire abstraction des petits angles que les plans des diverses orbites font entre eux, et aussi des petites excentricités qui font que chacune de ces orbites diffère d'un cercle : nous aurons alors une série d'orbites circulaires, décrites dans un même plan autour du Soleil comme centre commun. En partant de cet astre central, et nous en éloignant de plus en plus, nous trouvons d'abord Mercure, puis Vénus, ensuite la Terre, plus loin Mars, plus loin encore Jupiter, et enfin Saturne. Nous ne parlons ici que des planètes anciennement connues ; celles dont la découverte a été faite depuis moins d'un siècle ne sont absolument d'aucune utilité pour ce dont il s'agit. Les rayons des orbites circulaires de ces six planètes sont respectivement proportionnels aux nombres suivants, inscrits au-dessous du nom de chacune d'elles :

Mercure,	Vénus,	la Terre,	Mars,	Jupiter,	Saturne.
4	7	10	15	52	95

Quels sont les points de cette figure totale qui sont le plus rapprochés de la Terre, supposée en un point quelconque de son orbite ? Ce sont évidemment, d'une part les

points pris sur l'orbite de Vénus, dans la partie de cette orbite qui avoisine le rayon mené de la Terre au Soleil ; d'une autre part les points pris sur l'orbite de Mars, dans la partie qui avoisine le rayon mené du Soleil à la Terre et prolongé au-delà de la Terre jusqu'à cette orbite. En d'autres termes, les plus petites distances que l'on puisse avoir à considérer entre la Terre et les divers corps du système planétaire sont : 1° la distance de la Terre à Vénus, lorsque Vénus est en *conjonction inférieure,* c'est-à-dire lorsqu'elle passe entre le Soleil et la Terre ; 2° la distance de la Terre à Mars, lorsque cette dernière planète est en *opposition,* c'est-à-dire lorsque la Terre se trouve entre elle et le Soleil. Dans les circonstances que nous venons d'indiquer, la distance de Vénus à la Terre est les 0,3 ou un peu moins du tiers de la distance de la Terre au Soleil ; celle de Mars à la Terre est les 0,5 ou la moitié de cette dernière distance.

Les distances de Vénus en conjonction inférieure, et de Mars en opposition, étant notablement plus petites que la distance du Soleil à la Terre, on comprend qu'il y a de l'avantage à substituer la recherche de la parallaxe de Mars ou de Vénus, dans ces circonstances spéciales, à la recherche directe de la parallaxe du Soleil. Mais ce qui augmente considérablement l'avantage de cette substitution, c'est la possibilité de rapporter, dans les divers lieux d'observation, la position apparente de l'une ou de l'autre de ces planètes à quelqu'une des étoiles de son voisinage ; tandis que, quand il s'agit du Soleil, cela est absolument impossible, à cause de la grande lumière que cet astre répand autour de lui.

Sous ce dernier rapport, l'observation de Mars en opposition ne présente jamais de difficulté ; les étoiles qui l'avoisinent sont toujours visibles, puisque la planète est directement opposée au Soleil, et que par conséquent l'observation ne peut s'en faire que la nuit. Pour Vénus, il n'en est pas de même ; lors d'une conjonction inférieure, en mettant de côté les cas où la planète se projette sur le disque même du Soleil, cas que nous examinerons plus tard, on voit qu'elle se montre toujours dans la direction de cet astre brillant, à une distance plus ou moins grande de son disque, en raison de l'obliquité du plan de son orbite sur le plan de l'orbite de la Terre : ce n'est qu'en profitant des moments où le Soleil est au-dessous du plan de l'horizon, et où la planète est au-dessus du même plan (un peu après le coucher du Soleil, ou un peu avant son lever), qu'on parvient à rapporter la position de cette planète à une étoile voisine. Ajoutons que, outre la difficulté que doit présenter l'observation précise de la position de Vénus dans ces circonstances spéciales où elle se voit tout près de l'horizon, cette observation ne peut se faire chaque fois que pendant un temps très-court ; tandis que, pour Mars en opposition, la comparaison de la planète aux étoiles voisines peut se faire pendant toute la durée de la nuit, ce qui permet de répéter les mesures un grand nombre de fois, et d'arriver ainsi, par l'emploi simultané des nombres fournis par ces diverses mesures, à un résultat beaucoup plus exact. L'observation de Mars en opposition est donc de beaucoup préférable à l'observation de Vénus en conjonction inférieure, bien que dans ces circonstances la distance de Vénus soit plus petite que celle de Mars.

Pour simplifier les choses, nous avons fait abstraction momentanément des excentricités et des inclinaisons des orbites des planètes. Si nous en tenons compte maintenant, nous verrons que toutes les oppositions de Mars, et toutes les conjonctions inférieures de Vénus, ne sont pas également bonnes à employer pour atteindre le but que nous nous proposons. En vertu des excentricités des orbites, les distances des planètes au Soleil augmentent et diminuent alternativement ; la distance d'une planète au Soleil est minimum lorsqu'elle passe à son *périhélie,* maximum lorsqu'elle passe à son *aphélie.* Si, lorsque Mars est en opposition, cette planète se trouve à son périhélie, et si la Terre se trouve en même temps à son aphélie, il est clair que la distance de Mars à la Terre est plus petite que pour toute autre opposition de Mars où ces conditions ne sont pas remplies : une pareille opposition de Mars est donc préférable à toute autre pour déterminer la parallaxe de la planète et en déduire la parallaxe du Soleil. Les conditions particulières que nous venons d'indiquer ne sont jamais complétement réalisées ; mais on devra choisir de préférence, parmi les diverses oppositions de Mars, celles qui en approcheront le plus, c'est-à-dire celles pour lesquelles la distance de Mars et de la Terre sera la plus petite. Des considérations analogues serviront à choisir, entre les diverses conjonctions inférieures de Vénus, celles qui seront le plus favorables pour la détermination de la parallaxe ; dans ce dernier cas, on devra tenir un grand compte de la facilité plus ou moins grande que la distance angulaire de Vénus au disque du Soleil, due à l'inclinaison du plan de son orbite, pourra donner pour la comparaison

de la position de la planète à celle des étoiles voisines.

Cela étant bien compris, voyons quelles sont les applications qui ont été faites de cette nouvelle méthode pour la détermination de la parallaxe du Soleil. Nous avons dit que, pendant bien longtemps, on avait dû se contenter des indications peu précises fournies par la méthode d'Aristarque, méthode à l'aide de laquelle on avait attribué d'abord à la parallaxe du Soleil une valeur de 3 minutes, et qui, avec le secours des lunettes astronomiques, avait pu tout au plus montrer que cette parallaxe ne dépassait pas $\frac{1}{2}$ minute ou 30 secondes. On en était là, lorsque la fondation de l'Académie des Sciences de Paris vint donner un nouvel et puissant essor à l'avancement des sciences en général et spécialement de l'Astronomie. La première séance de l'Académie avait été tenue le 22 décembre 1666 à la Bibliothèque du Roi ; dès l'été suivant (21 juin 1667), les mathématiciens de ce corps savant se transportent au lieu choisi pour y établir l'Observatoire, et y tracent une méridienne et huit azimuts pour servir de base à la construction de l'édifice ; en 1671, l'Académie envoie Picard à Uranibourg, pour se rendre un compte exact de la position des lieux immortalisés par les observations de Tycho-Brahé ; en 1672, elle envoie Richer à Cayenne, pour résoudre diverses questions touchant l'Astronomie. Ce voyage de Richer avait entre autres pour objet la détermination de la parallaxe de Mars en opposition, en vue d'arriver à la connaissance de la parallaxe du Soleil ; c'est la première application connue de la méthode que nous venons d'expliquer pour obtenir la valeur de cette dernière parallaxe. Voyons ce que dit à ce sujet l'*Histoire de l'Académie des Sciences* (t. Ier,

année 1672, p. 155 et suiv.). Après avoir parlé des réfractions, qui étaient peu connues, on ajoute :

« On n'était pas moins incertain sur la parallaxe. Képler « prétendait que celle du Soleil était d'une minute à l'ho« rizon ; d'autres la supposaient insensible, ou au-dessous « de 12 secondes, et quoique M. Cassini se fût arrêté à ce « dernier parti dans l'*Essai* des observations publiées en « 1656 à Bologne, il doutait encore, tant ces matières-là « sont délicates.

« Toutes ces difficultés ne se pouvaient résoudre en nos « climats de l'Europe ; il fallait qu'un autre ciel en fût « juge. Celles qui regardaient la réfraction demandaient des « lieux où l'on pût avoir le Soleil au zénith ; et pour la pa« rallaxe, la meilleure manière était d'observer la même « planète de deux lieux fort éloignés, pour découvrir si « leur éloignement produirait quelque différence dans le « lieu du firmament où les deux observateurs la rapporte« raient.

« Combien d'autres observations importantes pouvaient « se faire encore dans un climat éloigné, pourvu qu'il fût « au midi ! » (Ici on mentionne les constellations australes, certaines planètes qui ne sont pas bien vues en Europe, telles que Mercure ; le crépuscule, la hauteur du baromètre, le pendule à secondes, etc.)

« L'Académie prit donc la résolution d'envoyer des « observateurs en l'île de Cayenne, sur les côtes de l'Amé« rique, éloignée de l'équateur d'environ 5 degrés vers le « septentrion, et sujette à la domination française. Une « circonstance particulière pressait ce voyage. Mars devait « être opposé au Soleil, et dans sa plus grande proximité

« de la Terre, aux mois d'août et septembre de cette année.
« Si jamais il pouvait faire parallaxe (1), ce devait être en
« ce temps-là, et la distance de Paris à Cayenne était assez
« grande pour rendre cette parallaxe sensible.

« Le roi, informé des vues de l'Académie, donna ses
« ordres pour ce voyage...

« M. Richer, de l'Académie royale des Sciences, accom-
« pagné de M. Meurisse, versé dans les observations
« astronomiques, s'embarqua à la Rochelle pour Cayenne,
« le 8 février...

« M. Richer arriva en l'île de Cayenne le 22 avril de
« cette même année (1672). Aussitôt il se fit bâtir un ob-
« servatoire par les sauvages...

« Pendant ce temps-là, l'Europe travaillait de concert
« avec l'Amérique. On était particulièrement attaché à la
« planète de Mars, qui attirait les yeux et les soins de tous
« les astronomes, parce qu'elle semblait promettre alors
« la découverte des parallaxes, si cette découverte était
« possible.

« M. Cassini (2) fit avec M. Rœmer un grand nombre
« d'observations de Mars concertées avec M. Richer... »

Si nous nous reportons maintenant à l'*Histoire de l'Académie* pour l'année 1673, voici ce que nous y trouvons (p. 168) :

---

(1) C'est-à-dire paraître occuper des positions différentes dans le ciel, à un même instant, pour des observateurs diversement placés sur la Terre.

(2) Cassini (Dominique) était arrivé à Paris au commencement de 1669, appelé d'Italie par le roi, à la sollicitation de Colbert. Avant cela, Colbert avait provoqué une correspondance entre Cassini et l'Académie des sciences, dès l'époque de la fondation de ce corps savant.

« On attendait le retour de M. Richer comme l'on eût « attendu l'arrêt d'un juge, qui devait prononcer sur les « difficultés importantes qui partageaient les astronomes...

« La grande affaire, du moins pour la difficulté, était la « parallaxe de Mars...

« M. Richer, en Amérique, comparait la hauteur méri- « dienne de Mars à l'étoile fixe la plus proche de cette « planète. M. Cassini, le même jour, comparait à Paris « cette même hauteur méridienne à la même étoile fixe...

« Par le choix des observations les plus exactes et les « plus conformes entre elles, on fixa à 15 secondes la « parallaxe que fait Mars de Paris à Cayenne » (c'est-à-dire l'angle sous lequel, du centre de Mars, on verrait la corde d'un méridien terrestre allant du parallèle de Paris à celui de Cayenne), « et par conséquent la totale à 25 $\frac{1}{8}$ se- « condes. » (C'est ce que nous avons nommé simplement la parallaxe de Mars.)

L'historien de l'Académie ajoute que, d'après les idées adoptées sur les distances relatives des planètes au Soleil, la distance de Mars à la Terre, lors des observations de Richer, était à la distance moyenne du Soleil à la Terre comme 1 est à 2 $\frac{2}{3}$, ou, ce qui est la même chose, comme 3 est à 8. Puisque les parallaxes, lorsqu'elles sont petites, varient en raison inverse des distances à la Terre, il s'ensuit que la parallaxe du Soleil devait être les $\frac{3}{8}$ de celle (25 $\frac{1}{3}$ secondes) qu'on avait trouvée pour Mars; ce qui donne pour cette parallaxe du Soleil une valeur de 9 $\frac{1}{2}$ secondes.

L'incertitude qui avait si longtemps existé sur la valeur de la parallaxe du Soleil était loin cependant d'avoir disparu en totalité à la suite de ces dernières recherches. L'*His-*

toire de l'Académie dit que le résultat auquel on s'était arrêté provenait *du choix des observations les plus exactes et les plus conformes entre elles ;* or, si l'on ne se contente pas de ce choix, si l'on examine ce que les différentes observations avaient donné, on trouve des résultats extrêmement variés, dont l'ensemble est loin d'être satisfaisant. Dès que les observations de Richer furent parvenues en France, Picard les compara à celles qu'il avait faites en même temps à Brion en Anjou, et trouva ainsi pour la parallaxe de Mars une valeur nulle. Cassini, ne pouvant adopter une pareille conclusion, pensa que l'effet de la parallaxe avait été anéanti par l'erreur des observations ; il examina ces observations, les discuta, et vit qu'elles pouvaient comporter une erreur d'un quart de minute, d'où il tira la conséquence que la parallaxe de Mars ne pouvait guère dépasser 25 secondes. Ayant ensuite comparé ses propres observations à celles de Richer, Cassini en conclut pour la parallaxe de Mars une valeur de $25\frac{1}{3}$ secondes. Les deux déterminations dont nous venons de parler étaient faites par la première des deux méthodes que nous avons exposées au commencement de cette Notice ; Cassini chercha en outre à déduire la parallaxe de Mars de ses observations seules, sans les comparer à celles d'aucun autre astronome, en se servant pour la première fois de la seconde de ces deux méthodes, qui suppose des observations faites en un seul et même lieu, peu de temps après le lever de la planète, et aussi peu de temps avant son coucher ; il trouva un résultat très-sensiblement d'accord avec celui qu'il avait déduit de la comparaison de ses observations à celles de Richer. Par l'emploi de cette seconde méthode, appliquée à ses obser-

vations seules, Picard fut conduit au contraire à un nombre double de celui que Cassini avait trouvé à la fois par les deux méthodes. La Hire, qui avait aussi observé Mars avec assiduité à Paris, pendant que Richer l'observait à Cayenne, avait déduit de ses observations des résultats si divers, qu'il jugeait la parallaxe du Soleil insensible : « A « peine avons-nous trouvé, dit-il, une parallaxe sensible « dans le Soleil; ainsi l'on peut en sûreté la négliger si on « le juge à propos. Si cependant on veut employer pour « le Soleil une parallaxe de 6 secondes, on aura la distance « moyenne du Soleil à la Terre de 34 377 demi-diamètres « terrestres. » Flamsteed cependant, qui avait également observé Mars à Derby en Angleterre, pendant le voyage de Richer, écrivait, le 16 novembre 1672, qu'ayant mesuré la distance de la planète à deux étoiles, il avait reconnu que sa parallaxe n'était certainement pas de 30 secondes, et que la parallaxe du Soleil ne dépassait guère 10 secondes; et quelques mois plus tard il était persuadé que la parallaxe de Mars allait à peine à 25 secondes, ce qui donnait moins de 10 secondes pour celle du Soleil. Au milieu de ces divergences, l'accord des résultats obtenus par Cassini d'une part, en employant deux méthodes essentiellement différentes, et par Flamsteed d'une autre part, fit qu'on s'arrêta, pour la parallaxe du Soleil, à la valeur de $9\frac{1}{2}$ secondes, donnée par la comparaison des observations de Cassini avec celles de Richer.

Toutefois on ne manqua pas de refaire, de temps à autre, des observations du même genre, lorsque des circonstances favorables se représentaient, pour contrôler ce résultat des observations de 1672. Ainsi, en 1704, Maraldi observa

la parallaxe de Mars et la trouva de 23 secondes, d'où résultait pour le Soleil une parallaxe de 10 secondes. En 1719, Pound et Bradley firent de nombreuses observations, desquelles il résulta pour la parallaxe du Soleil diverses valeurs toutes comprises entre 12 secondes et 9 secondes. La même année (1719), Maraldi reprit aussi ces observations et fut conduit au même résultat qu'en 1704.

La Caille ayant fait en 1751 et 1752 un voyage au Cap de Bonne-Espérance dans un but pareil à celui qui, quatre-vingts ans auparavant, avait motivé le voyage de Richer à Cayenne, les observations auxquelles il se livra dans ce lieu très-éloigné, en vue de déterminer la parallaxe du Soleil, ne firent que confirmer l'exactitude des déterminations précédentes. Toutes les observations de la planète Mars, faites de la fin d'août 1751 au 6 octobre de la même année, ramenées par le calcul au 14 septembre 1751, jour de l'opposition de Mars, et comparées à celles qui avaient été faites en même temps en Europe par un grand nombre d'astronomes, donnèrent comme moyenne de vingt-sept résultats une valeur de 26",8 pour la parallaxe de Mars, le jour de l'opposition; en tenant compte du rapport qui existait à cette époque entre la distance de Mars à la Terre et la distance moyenne de la Terre au Soleil, La Caille en conclut pour la parallaxe du Soleil une valeur de 10",2. Vénus s'étant trouvée en conjonction inférieure le 31 octobre 1751, et les circonstances de cette conjonction inférieure devant permettre d'observer facilement la planète, elle fut observée, en effet, au Cap par La Caille, et en Europe; bien que le temps se trouvât peu favorable aux observations, La Caille put en calculer quatre, qui lui don-

nèrent 10″,38 pour la parallaxe du Soleil. La Caille conclut de toutes ses recherches sur ce sujet en disant qu'on peut établir comme une quantité certaine, à moins d'un quart de seconde près, que la parallaxe du Soleil dans sa moyenne distance à la Terre est de 10 $\frac{1}{4}$ secondes.

Tel était l'état de la question vers le milieu du XVIIIe siècle, lorsque se présenta l'occasion attendue depuis longtemps d'appliquer pour la première fois une méthode toute différente, celle des *passages de Vénus,* méthode qui par sa nature devait fournir la parallaxe du Soleil avec une précision beaucoup plus grande qu'aucune de celles qui avaient été employées jusque-là.

Méthode remarquable de Halley, pour déterminer la parallaxe du Soleil par l'observation des passages de Vénus.

Les deux planètes Mercure et Vénus, en circulant autour du Soleil, viennent de temps à autre, lors de leurs conjonctions inférieures, se placer entre le Soleil et la Terre. Si les plans de leurs orbites se confondaient avec le plan de l'écliptique (plan de l'orbite de la Terre), chacune de ces deux planètes, lorsqu'elle serait dans sa conjonction inférieure, nous semblerait se projeter sur le disque même du Soleil; elle nous paraîtrait, sur ce champ éblouissant de lumière, sous forme d'un petit cercle noir traversant peu à peu le disque étincelant et allant du bord oriental de ce disque à son bord occidental. Ce phénomène du passage de l'une des deux planètes sur le disque du Soleil, au lieu d'arriver à toutes les conjonctions de la planète, est au

contraire très-rare, surtout pour Vénus, en raison des inclinaisons des plans de leurs orbites sur le plan de l'écliptique, inclinaisons qui font que, lors de leurs conjonctions inférieures, ces deux planètes, vues de la Terre, passent soit au-dessus, soit au-dessous du disque du Soleil, à une distance plus ou moins grande de ce disque. Quoi qu'il en soit, considérons un pareil passage, de la planète Vénus par exemple, sur le disque du Soleil, et voyons à quoi pourra nous conduire l'observation précise des diverses phases du phénomène.

Le Soleil et Vénus, vus d'un point quelconque de la surface de la Terre, ne se projettent ni l'un ni l'autre exactement au même point du ciel que si on les observait du centre du globe terrestre (à moins toutefois qu'ils ne soient placés tous deux au zénith du lieu d'où on les observe). S'il était possible de voir en même temps les diverses étoiles qui occupent la région du ciel où on les aperçoit l'un et l'autre, et de rapporter par des mesures précises les positions de leurs centres aux étoiles voisines, on verrait que, par suite du transport de l'observateur du centre de la Terre en un point de sa surface, ces centres du Soleil et de la planète se déplaceraient, tous deux dans le même sens, de quantités proportionnelles aux parallaxes respectives des deux astres. Si, par exemple, au moment de l'observation, le Soleil et la planète que l'on voit passer sur son disque se trouvaient à l'horizon du lieu où l'on est placé, il est facile de voir que, par suite du déplacement de l'observateur se transportant du centre de la Terre à ce lieu d'observation, les centres du Soleil et de Vénus s'abaisseraient respectivement, le premier d'une quantité égale à

la parallaxe du Soleil, le second d'une quantité égale à la parallaxe de Vénus : le centre de Vénus s'abaisserait donc plus que le centre du Soleil, d'une quantité égale à l'excès de la parallaxe de cette planète sur celle du Soleil. En général, lors d'une conjonction inférieure de Vénus, le transport de l'observateur du centre de la Terre en un point quelconque de sa surface amènera un déplacement apparent de Vénus, par rapport au Soleil, dû à la différence des parallaxes des deux astres. Nous avons dit plus haut que, dans de pareilles circonstances, la distance de Vénus à la Terre est les 0,3 de la distance du Soleil à la Terre ; la parallaxe de Vénus est donc alors les $\frac{10}{3}$ de celle du Soleil, et l'excès de la première sur la seconde est les $\frac{7}{3}$ de cette seconde parallaxe. Ainsi, en se transportant du centre de la Terre en divers points de la surface du globe terrestre, on devra voir Vénus se déplacer, par rapport au Soleil, exactement de la même manière qu'on verrait se déplacer par rapport aux étoiles un astre qui serait dans la même région du ciel, et qui aurait pour parallaxe les $\frac{7}{3}$ de la parallaxe du Soleil. Si l'on peut déterminer la valeur de cette *parallaxe relative* de Vénus par rapport au Soleil, on n'aura plus qu'à en prendre les $\frac{3}{7}$ pour avoir la parallaxe de ce dernier astre (1).

Examinons maintenant comment, en vertu de cette pa-

(1) Nous avons admis ici, comme base de notre raisonnement, que la distance de Vénus à la Terre est les 0,3 de la distance de la Terre au Soleil. Il est bien clair que, lors de chaque passage de Vénus sur le Soleil, on devra remplacer ce nombre 0,3 par le rapport précis de la distance de Vénus à la Terre à la distance moyenne de la Terre au Soleil, la première de ces deux distances dépendant des positions que Vénus et la Terre occupent alors sur leurs orbites respectives.

rallaxe relative de Vénus, les apparences que présentera le passage de la planète sur le disque du Soleil pourront différer entre elles, suivant que le passage sera observé de tel ou tel point de la surface de la Terre. Vu du centre de la Terre, ce passage paraîtrait s'effectuer en vertu d'un mouvement très-sensiblement rectiligne et uniforme de Vénus; le centre du petit cercle obscur, suivant lequel la planète se projetterait sur le disque du Soleil, semblerait parcourir une corde de ce disque circulaire. Vue d'un point de la surface de la Terre, Vénus, qui doit paraître déplacée d'une certaine quantité par rapport au Soleil, en vertu de sa parallaxe relative, devra sembler parcourir sur le disque lumineux une ligne un peu différente de la corde dont nous venons de parler, ligne qui sera encore sensiblement droite, c'est-à-dire qui constituera une autre corde du même disque. Cette nouvelle corde, suivant laquelle la planète semblera se mouvoir sur le disque du Soleil, pour un observateur placé en un lieu quelconque de la surface de la Terre, variera d'ailleurs de position sur ce disque, et par suite de grandeur, suivant qu'elle se rapportera à tel ou tel lieu d'observation. Il résulte évidemment de là que la *durée* totale du passage variera suivant la position que l'observateur occupera sur la surface de la Terre. Or, c'est cette durée totale que nous devons spécialement considérer ici; c'est elle que l'on détermine directement dans divers lieux, pour arriver à déduire de la comparaison de ses différentes valeurs la grandeur de la parallaxe relative de Vénus, et par suite la valeur de la parallaxe du Soleil.

Il est clair tout d'abord que la différence des longueurs des diverses cordes suivant lesquelles différents observa-

teurs verront Vénus traverser le Soleil, doit suffire à elle seule pour établir une différence entre les durées totales qu'ils trouveront à ce phénomène ; si le mouvement de la planète le long de ces diverses cordes s'effectuait pour toutes avec une même vitesse apparente, les temps employés à les parcourir seraient proportionnels à leurs longueurs. Mais, ainsi que nous allons le voir, les lieux d'observation peuvent être choisis sur la Terre de telle manière qu'il en résulte pour la planète des vitesses apparentes notablement différentes, sur les diverses cordes qu'on lui voit parcourir ; il y a donc, dans cette différence de vitesse apparente, une nouvelle cause d'inégalité dans les durées du passage observées en divers lieux. Ces deux causes d'inégalité dans les durées observées, savoir, la différence de longueur des cordes parcourues et la différence de vitesse dans le parcours de chacune d'elles, peuvent se combiner de diverses manières ; leurs effets peuvent être de sens contraires et s'entre-détruire au moins partiellement ; mais ils peuvent aussi être de même sens, de manière à s'ajouter et à produire un effet total plus grand que chacun d'eux pris isolément. On comprend que, si l'on parvient à réaliser cette dernière circonstance, par un choix convenable des lieux d'où le phénomène devra être observé, on aura augmenté le degré de précision avec lequel la valeur de la parallaxe relative de Vénus pourra être obtenue par l'observation du passage, puisqu'on aura rendu plus grand, et par suite plus facilement mesurable avec exactitude, l'effet total dû à cette parallaxe relative.

Voyons donc comment il peut se faire que des observateurs diversement placés sur la surface de la Terre voient

la planète Vénus se mouvoir sur le disque du Soleil avec des vitesses apparentes inégales. Examinons ce qui se passe à l'instant particulier où, vue du centre de la Terre, la planète se trouve au milieu de son passage, c'est-à-dire où elle a déjà parcouru la moitié de la corde qu'elle doit décrire sur le disque du Soleil. A cet instant particulier, que l'on peut calculer à l'avance, en se servant des *Tables* du mouvement du Soleil et de Vénus, le Soleil est au zénith d'un certain point de la surface de la Terre; il est *midi* en ce point de la Terre, et aussi dans tous les autres lieux situés sur le même méridien terrestre que lui, c'est-à-dire sur le demi-cercle qui passe par ce point et qui a ses extrémités aux deux pôles de la Terre; tandis qu'il est *minuit* dans tous les lieux situés sur le demi-cercle opposé, servant de complément au premier demi-cercle de manière que leur ensemble forme un cercle tout entier. Or, en vertu de la rotation de la Terre autour de l'axe qui passe par ses deux pôles, les points situés sur ces deux demi-cercles sont animés de vitesses de sens contraires : les points situés sur le demi-cercle tout le long duquel il est midi marchent dans le même sens qu'un point qui parcourrait le diamètre horizontal du disque du Soleil en allant de l'ouest à l'est; et ceux qui sont situés sur l'autre demi-cercle, ceux pour lesquels il est minuit, marchent dans le sens d'un point qui parcourrait le même diamètre horizontal du Soleil en allant du côté est au côté ouest de cet astre. Rappelons-nous maintenant que, pour un observateur placé au centre de la Terre, la planète Vénus traverse le disque du Soleil en allant du bord oriental au bord occidental de ce disque. Nous en conclurons que l'observateur, placé sur la Terre en un

point où il est midi, sera emporté par la rotation de la Terre en sens contraire du mouvement en vertu duquel Vénus traverse le disque du Soleil, et qu'en conséquence la planète lui semblera se mouvoir plus vite que s'il l'observait du centre même de la Terre ; tandis que, pour l'observateur placé en un point où il est minuit, le mouvement dont il est animé en vertu de la rotation de la Terre étant de même sens que celui de Vénus dans son passage sur le disque du Soleil, ce dernier mouvement lui semblera plus lent que s'il était immobile au centre de la Terre pour l'observer. Ainsi, pour tout observateur qui verra le passage de Vénus commencer quelque temps avant midi et finir quelque temps après midi, la vitesse apparente de la planète sera plus grande qu'elle ne serait pour un observateur placé au centre de la Terre ; elle sera plus petite au contraire qu'en ce point d'observation central, pour tout observateur qui verra le passage commencer quelque temps avant minuit et finir quelque temps après minuit.

On se demandera naturellement s'il est possible de faire l'observation dans ce dernier cas. Cela ne serait pas possible, si, au moment du passage, le Soleil se trouvait situé sur l'équateur céleste, c'est-à-dire s'il était à l'un des équinoxes de printemps ou d'automne ; car alors le Soleil est invisible dans tous les points de la Terre où il est minuit ; partout il se couche six heures avant minuit, pour se lever six heures après, et la durée du passage de Vénus est toujours beaucoup plus petite que ce temps de douze heures que dure partout la nuit à ces époques d'équinoxes. Mais si, au contraire, le Soleil est loin de l'équateur céleste, s'il est dans le voisinage d'un des solstices, d'été ou d'hiver, au

moment du passage de Vénus, il en est tout autrement. Le Soleil éclaire alors sans interruption, pendant les vingt-quatre heures de chaque jour, toute une zone de la Terre située autour de l'un de ses pôles; s'il est, par exemple, précisément au solstice d'été, il éclaire ainsi tous les points de ce qu'on nomme la *zone glaciale*, calotte sphérique qui a pour centre le pôle nord, et qui se termine au cercle polaire arctique. Rien n'empêche alors d'observer le passage de Vénus, en choisissant pour cela un lieu où le phénomène commence quelque temps avant minuit et finisse quelque temps après minuit. Il n'est même pas nécessaire de se placer en un point de cette zone où le Soleil reste sur l'horizon pendant les vingt-quatre heures de chaque journée; on peut adopter un lieu de latitude moins élevée, voisin de cette zone, où le Soleil reste assez peu de temps au-dessous de l'horizon, pour que le passage de Vénus sur son disque puisse commencer avant son coucher et se terminer après son lever.

Voyons maintenant dans quelles circonstances les deux causes que nous avons indiquées comme devant faire varier la durée du passage de la planète, suivant que le phénomène sera observé de tel ou tel lieu de la Terre, pourront se combiner de manière à ajouter leurs effets, et à produire les plus grandes différences entre les durées observées en divers lieux. Si, vue du centre de la Terre, Vénus traversait le disque du Soleil en parcourant un diamètre de ce disque, c'est-à-dire en passant par son centre, les observateurs disséminés en divers points de la surface de la Terre verraient la planète se mouvoir suivant diverses cordes du disque solaire, situées de part et d'autre de son centre, et présentant

par conséquent entre elles des différences de longueur à peine sensibles. Pour que la différence de longueur des cordes parcourues puisse influer notablement sur les durées correspondantes du passage, il faut donc que, vue du centre de la Terre, la planète paraisse traverser le disque du Soleil en passant suffisamment loin du centre de ce disque. Admettons, pour fixer les idées, que Vénus passe dans la partie boréale du disque du Soleil, c'est-à-dire dans ce qui est pour nous la partie supérieure de ce disque, lorsque nous regardons le Soleil à midi. Admettons en même temps que le Soleil, au moment du passage, se trouve dans le voisinage du solstice d'été. Si l'on réfléchit un peu aux conditions dans lesquelles nous nous supposons ainsi placés, on verra que, pour un observateur installé dans l'hémisphère austral de la Terre, la corde parcourue par Vénus sur le Soleil sera plus courte que pour un observateur placé dans l'hémisphère boréal; d'ailleurs, dans l'hémisphère austral on ne pourra observer le passage que de part et d'autre de midi, tandis que dans l'hémisphère boréal on pourra trouver des lieux où il pourra être observé de part et d'autre de minuit, ce qui fournira pour ces derniers lieux d'observation une vitesse apparente de la planète plus petite que dans l'hémisphère austral : donc, de ces lieux choisis dans l'hémisphère boréal, on verra le passage de Vénus s'effectuer suivant les cordes les plus longues et avec la vitesse apparente la plus petite, tandis que dans l'hémisphère austral on verra au contraire la planète parcourir les cordes les plus courtes et avec la vitesse apparente la plus grande. On se trouvera ainsi dans les conditions les plus favorables pour que la différence de position des observateurs sur la

Terre produise la plus grande différence dans les durées du passage observées par chacun d'eux.

Les mêmes circonstances favorables se reproduiront, si la planète traverse le disque du Soleil dans sa partie australe, et si en même temps le Soleil est voisin du solstice d'hiver.

Dans les cas, au contraire, où Vénus traversera la partie boréale du disque solaire dans les environs du solstice d'hiver, ou bien la partie australe de ce disque dans les environs du solstice d'été, c'est aux cordes les plus courtes parcourues par la planète que correspondra sa plus petite vitesse apparente, et aux cordes les plus longues que correspondra en même temps sa plus grande vitesse apparente : de sorte que les deux causes des inégalités de durées s'entre-détruiront mutuellement, au lieu d'ajouter leurs effets. On devra, dans ces cas, choisir les lieux d'observation de manière à éviter autant que possible les résultats fâcheux de cet antagonisme, afin d'obtenir entre les diverses durées observées la plus grande différence possible, différence qui d'ailleurs ne sera jamais aussi grande que dans les cas où cet antagonisme n'existe pas.

L'entrée de Vénus sur le disque du Soleil présente deux circonstances qui peuvent servir l'une et l'autre à fixer l'instant précis où le phénomène commence. Le petit disque de la planète devient d'abord *tangent extérieurement* au disque du Soleil ; puis, s'avançant peu à peu sur ce dernier disque, il arrive bientôt à lui être *tangent intérieurement ;* ensuite, en continuant à s'avancer, il se projette tout entier sur le disque du Soleil, comme un petit cercle noir tout entouré de lumière. Le contact extérieur n'est pas suscep-

tible d'être observé avec une très-grande précision, attendu qu'on ne voit pas le disque de la planète, et que la présence de ce disque ne devient sensible que lorsqu'il a déjà un peu entamé le disque du Soleil, c'est-à-dire un peu de temps après l'instant précis de ce contact extérieur. Mais il n'en est pas de même du contact intérieur, dont on prévoit facilement la formation prochaine, lorsque le disque de la planète est déjà entré presque en totalité sur le disque du Soleil, et qui se manifeste nettement par la jonction brusque des deux pointes lumineuses existant, avant ce contact, de part et d'autre du point où il va se produire. Les mêmes circonstances se présentent, dans un ordre inverse, à la fin du passage de la planète sur le disque du Soleil : il y a d'abord un contact intérieur des deux disques, rendu très-sensible par la rupture brusque du mince filet lumineux qui existe entre les contours de ces disques lorsque le contact va se produire ; puis un contact extérieur, qui se manifeste par la disparition complète de l'échancrure que l'interposition de Vénus produisait, quelques instants auparavant, sur le disque du Soleil. C'est par l'observation de ces divers contacts extérieurs et intérieurs que l'on arrive à déterminer la durée totale du phénomène.

Quelles que soient les conditions dans lesquelles un passage de Vénus sur le Soleil se produit et peut être observé de divers points de la Terre, on établit toujours très-facilement la liaison intime qui existe entre les différences de durées fournies directement par l'observation et la parallaxe relative de Vénus par rapport au Soleil, qui est la cause de ces différences de durées ; de sorte que, les différences de durées étant connues, on en déduit immédiate-

ment la valeur de cette parallaxe relative, et par suite celle de la parallaxe du Soleil qui en est une fraction connue. Or, si l'on fait attention à la grandeur que peuvent acquérir ces différences de durées, grandeur qui, lors des observations de 1769, s'est élevée jusqu'à plus de 23 minutes ; si l'on réfléchit à la précision avec laquelle une différence de temps aussi grande peut être obtenue ; si l'on pense surtout à l'exactitude que comporte l'observation du commencement et de la fin du passage de Vénus, en prenant pour ces instants les contacts intérieurs des deux disques à l'entrée et à la sortie, on verra que ce moyen doit fournir la valeur de la parallaxe du Soleil avec une approximation beaucoup plus grande qu'aucun de ceux que nous avons fait connaître précédemment. En somme, il s'agit de mesurer la parallaxe du Soleil, qui est un angle extrêmement petit, n'allant pas à 9 secondes de degré ; et cette mesure est ramenée à celle d'un temps qui peut aller notablement au-delà d'un quart d'heure, c'est-à-dire d'un temps très-facile à obtenir avec une grande approximation. Cette méthode présente la plus grande analogie avec celle qu'emploient les naturalistes qui, après avoir grossi à l'aide du microscope les petits objets dont ils veulent connaître les dimensions, mesurent ensuite ces dimensions agrandies à l'aide d'une règle divisée en parties connues, en millimètres par exemple, puis en concluent les dimensions réelles des objets, en tenant compte du grossissement du microscope.

Tout ce que nous venons de dire relativement aux passages de Vénus sur le Soleil, et au parti que l'on peut en tirer pour la détermination de la parallaxe du Soleil, nous pourrions le répéter pour les passages de Mercure. Mais

cette dernière planète, se trouvant beaucoup plus près du Soleil que Vénus, a, lors de ses passages, une parallaxe relative beaucoup plus petite que celle de Vénus, plus petite même que la parallaxe du Soleil qui est en définitive la quantité à déterminer; il en résulte que l'observation des passages de Mercure est beaucoup moins propre que celle des passages de Vénus à une détermination précise de cette dernière parallaxe, et ne pourrait guère conduire à des résultats satisfaisants.

Cette méthode admirable a été imaginée par le célèbre astronome anglais Halley. La première idée lui en est venue en 1678, lorsque très-jeune encore il était occupé, dans l'île de Sainte-Hélène, à observer les étoiles qui avoisinent le pôle austral du ciel. Il eut alors l'occasion d'observer un passage de Mercure sur le Soleil, et fut frappé de la grande exactitude que comportait l'observation du commencement et de la fin du phénomène, en considérant spécialement, comme nous l'avons dit ci-dessus, l'instant de la formation ou de la rupture d'un mince filet lumineux entre le disque de la planète et celui du Soleil, lors du contact intérieur de ces deux disques. Il comprit tout de suite que ce genre d'observation était de nature à fournir avec une grande exactitude la valeur de la parallaxe du Soleil ; mais qu'il faudrait pour cela que, lors de ses passages, la planète Mercure fût moins près du Soleil et plus près de la Terre. Vénus satisfaisant très-bien à cette condition, il arrêta ses idées à l'emploi des passages de cette dernière planète pour la détermination de la parallaxe du Soleil, moyen qui lui semblait devoir fournir la valeur de cette parallaxe avec une grande approximation, puisqu'il pensait que l'erreur com-

mise ne dépasserait pas la *cinq-centième* partie du nombre cherché. Halley fit connaître sa méthode, en 1691, dans un Mémoire qui fait partie des *Transactions philosophiques* de la Société royale de Londres (nº 193). Plus tard, en 1716, il publia dans le même recueil (nº 348) tous les développements nécessaires pour en faire connaître la grande importance, et chercha même à déterminer les conditions dans lesquelles l'application devrait en être faite lors du premier passage de Vénus que l'on aurait lieu d'observer, au mois de juin de l'année 1761. Halley avait alors soixante ans (en 1716); il ne pouvait donc avoir l'espoir de jouir des résultats de la découverte qu'il avait faite, en imaginant une méthode qui présentait de si grandes chances de succès pour la détermination précise de la distance du Soleil à la Terre.

Observation des passages de Vénus, en 1761 *et* 1769; *résultats qu'on en a déduits.*

Les passages de Vénus sur le disque du Soleil sont extrêmement rares. Lorsque, après un long intervalle de temps, on vient à en observer un, il s'en reproduit un second au bout de huit ans; puis il faut attendre plus d'un siècle avant que le même phénomène se représente. Cela tient à ce que, pour qu'on puisse voir la planète se projeter sur le disque du Soleil, il faut qu'au moment de sa conjonction inférieure elle se trouve fort près d'un des nœuds de son orbite, circonstance qui est pour ainsi dire exceptionnelle parmi toutes celles que présentent les diverses conjonctions inférieures de cette planète.

Le premier passage de Vénus qui ait été observé s'est produit le 4 décembre 1639. Voici, d'après les recherches de Delambre, la liste des passages de cette planète, depuis celui dont nous venons de parler, jusqu'au XXVe siècle. Les lettres A, B, qui accompagnent les dates de ces divers passages, indiquent la partie, australe ou boréale, du disque du Soleil qui est traversée par la planète.

4 décembre	1639.	A.
6 juin	1761.	A.
3 juin	1769.	B.
9 décembre	1874.	B.
6 décembre	1882.	A.
8 juin	2004.	A.
5 juin	2012.	B.
11 décembre	2117.	B.
8 décembre	2125.	A.
11 juin	2247.	A.
9 juin	2255.	B.
12 décembre	2360.	B.
10 décembre	2368.	A.

On voit que ces passages de Vénus se présentent par groupes de deux, éloignés l'un de l'autre de huit ans ; et que les divers groupes, correspondant alternativement au mois de juin et au mois de décembre, sont séparés les uns des autres par un intervalle de temps qui est alternativement de cent cinq ans et de cent vingt-deux ans. Tous ont lieu peu de temps avant l'un des solstices, d'été ou d'hiver, circonstance favorable, ainsi que nous l'avons dit plus haut, pour obtenir, par un choix convenable des lieux d'observation, de très-grandes différences entre les durées du phénomène observées dans ces divers lieux. Ajoutons toutefois que, dans chacun des groupes de deux passages qui se pro-

duisent à huit ans d'intervalle l'un de l'autre, il n'y a que le second passage qui puisse se prêter à une augmentation de la différence des durées totales, par la combinaison de l'inégale longueur des cordes parcourues par la planète avec l'inégale vitesse de son mouvement apparent sur le disque du Soleil.

Le passage de 1761 était le premier auquel on pût appliquer la méthode de Halley pour la détermination de la parallaxe du Soleil. On attendait ce passage avec grande impatience; de tous côtés, les astronomes se préparaient à profiter d'un phénomène aussi rare, pour concourir par son observation à trouver une solution convenable de la question si difficile de la distance du Soleil à la Terre. Pour donner une idée exacte de l'importance de ces préparatifs, nous ne pouvons mieux faire que d'emprunter quelques citations à l'*Histoire abrégée de la parallaxe du Soleil* que Jacques-Dominique Cassini (1) publia comme appendice au *Voyage en Californie de Chappe d'Auteroche* (Paris, 1772). Voici ce qu'on y lit :

« Pendant les dernières années qui précédèrent celle du « passage de Vénus, l'Académie royale des Sciences s'oc- « cupa avec la dernière activité de ce phénomène prochain. « Assurée des secours du Gouvernement, invitée même par « lui à examiner quels seraient les voyages les plus utiles « à entreprendre pour en préparer la réussite, elle agitait « sans cesse dans ses assemblées toutes les questions et les

(1) Jacques-Dominique Cassini était arrière-petit-fils du grand Cassini (Dominique), que nous avons vu prendre une part si active aux premières observations de la parallaxe de Mars, en 1672, en vue d'en déduire la parallaxe du Soleil.

« recherches relatives à cet objet . M. de Lisle, l'un de ses
« plus illustres membres, dont nous regrettons encore au-
« jourd'hui la perte, exécuta alors le projet ingénieux, dont
« le passage de Mercure lui avait donné l'idée en 1753, de
« faire voir d'un seul coup d'œil tous les endroits où l'on
« pourrait observer le passage de Vénus, et de faire juger
« en même temps du plus ou moins d'avantage de la posi-
« tion de chaque lieu. Il construisit à cet effet une mappe-
« monde sur laquelle on voyait, au moyen de cercles qu'il
« y avait tracés, l'heure à laquelle chaque lieu de la Terre
« devait voir l'entrée et la sortie de Vénus sur le disque
« du Soleil. . . . .
« Je renvoie absolument le lecteur à cette mappemonde cu-
« rieuse, publiée au mois d'août 1760, ainsi qu'à l'excellent
« Mémoire où M. de Lisle proposa de déterminer la paral-
« laxe du Soleil par la simple observation des contacts. »

Voici quel est le principe de la nouvelle méthode dont il est question ici, et que de Lisle proposa, non pas pour remplacer celle de Halley, mais pour lui venir en aide, pour être employée en même temps qu'elle, partout où l'application de cette méthode remarquable ne serait pas possible. La méthode de Halley exigeait que, dans chaque lieu d'observation, on déterminât la durée totale du passage, c'est-à-dire qu'on observât avec précision le commencement et la fin du phénomène ; toute observation incomplète, qui n'aurait fourni l'heure exacte que de l'entrée de Vénus sur le Soleil ou bien de sa sortie, ne pouvait servir à rien. Il fallait mettre de côté toutes les observations faites dans les lieux où le Soleil se serait trouvé au-dessous de l'horizon au commencement ou à la fin du passage, et

aussi celles que l'état nuageux de l'atmosphère aurait empêché de faire complétement. De Lisle pensa que, pour tirer tout le parti possible de l'observation d'un phénomène aussi rare, il ne fallait renoncer volontairement à aucune des ressources que ce phénomène pouvait fournir pour la détermination de la parallaxe du Soleil. Il montra que, en combinant entre elles les observations précises du commencement ou de la fin du passage, faites dans divers lieux de la Terre, on pouvait encore en déduire, avec une grande exactitude, la valeur de la parallaxe du Soleil ; mais il fallait pour cela que les longitudes de ces lieux d'observation fussent connues avec une grande exactitude, ce que la méthode de Halley n'exigeait pas, du moins au même degré. On comprend en effet que, en vertu de la parallaxe relative de Vénus par rapport au Soleil, le passage de la planète sur le disque de ce dernier astre doit commencer plus ou moins tôt, et aussi finir plus ou moins tôt, suivant que l'observation se fait de tel ou tel lieu de la Terre. L'avance ou le retard du commencement ou de la fin du phénomène, sur les instants précis auxquels on les apercevrait du centre de la Terre, a nécessairement une liaison intime avec la grandeur de cette parallaxe relative qui en est la cause directe ; à l'aide de cette parallaxe, si elle était connue, on pourrait corriger les résultats de l'observation faite en un point quelconque de la surface de la Terre, de manière à les ramener à ce qu'ils auraient été pour un observateur placé au centre de la Terre ; la valeur de la parallaxe relative dont il s'agit est donc celle pour laquelle les corrections apportées ainsi à toutes les observations, recueillies en divers points de la surface de la Terre, amènent les

résultats de toutes ces observations à être identiques les uns avec les autres. La parallaxe relative de Vénus étant ainsi déterminée, on en déduit immédiatement la parallaxe du Soleil, comme nous l'avons dit plus haut.

« Cette méthode, ajoute l'auteur de l'*Histoire abrégée de* « *la parallaxe du Soleil,* a l'avantage de pouvoir être em- « ployée dans un plus grand nombre d'endroits que celle « de M. Halley. En effet, entre tous les lieux où il était « possible de se rendre, il y en avait très-peu où l'obser- « vation de la durée entière pût être faite, mais beaucoup « où quelqu'un des contacts devait avoir lieu. Il est vrai « que la méthode de M. de Lisle supposait une connais- « sance parfaite de la longitude de chaque observatoire ; « mais cette connaissance ne peut-elle pas toujours s'acqué- « rir, soit dans un moment, soit dans l'autre ? De plus, on « pouvait se procurer de plus grandes différences dans les « observations des contacts que dans celle de la durée, « comme le montrait la mappemonde de M. de Lisle. Deux « observatoires placés, l'un à la Mecque, l'autre à l'île de « Pâques, pouvaient avoir 17 minutes de différence dans « l'entrée de Vénus. Une pareille différence devait avoir « lieu dans la sortie observée d'une part au Kamtschatka, « de l'autre au cap des Terres Australes. Cette même sortie « devait aussi différer de 12 minutes à Tobolsk et à l'île de « Sainte-Hélène. Il n'était pas facile, à la vérité, de se « transporter dans plusieurs de ces endroits ; mais on pou- « vait en choisir d'autres intermédiaires, où l'on eût à peu « près les mêmes avantages. C'est ce dont on s'occupa « beaucoup dans le courant de l'année 1760. L'Académie « nomma des Commissaires pour concerter entre eux les

« lieux où l'on pourrait concilier, d'un côté l'avantage de « l'observation, et de l'autre la facilité d'y aborder et la « commodité de s'y établir. Le choix des lieux une fois « réglé, l'on n'était pas embarrassé de trouver des astro- « nomes qui voulussent s'y rendre. Un corps tel que l'Aca- « démie ne manque jamais de sujets prêts à se dévouer « pour le progrès des sciences et la gloire de la nation. Il « n'est aucun académicien dont le zèle ne soit capable de « tout, chaque fois qu'il est question de se rendre utile; « et le choix que la Compagnie fait alors d'un de ses « membres pour exécuter une entreprise même pénible « devient pour lui une préférence flatteuse et honorable. « La gloire de l'Académie royale des Sciences se trouva « principalement intéressée dans cette occasion par un « événement qui fut en même temps pour la nation un té- « moignage et un hommage flatteur de l'estime que les « étrangers ne peuvent lui refuser. L'Académie impériale « de Pétersbourg eut recours à notre Académie et lui de- « manda un de ses membres pour venir, sous les auspices « de l'Impératrice, observer le passage de Vénus dans tel « lieu de l'empire que l'on croirait le plus favorablement « situé. On peut juger de l'empressement de l'Académie à « répondre à une pareille confiance. Après avoir examiné « tous les lieux de la Russie où l'on pourrait aller faire « l'observation, l'Académie se décida pour la ville de To- « bolsk, capitale de la Sibérie, et le choix d'un observateur « tomba sur M. Chappe d'Auteroche, jeune astronome « dont les talents ne pouvaient être surpassés que par le « zèle, et qui y réunissait un tempérament robuste, propre « à résister à un voyage aussi pénible.

« Pour tirer de l'observation de Tobolsk tout le fruit « qu'on pouvait en espérer, il fallait se procurer d'autres « observations correspondantes, et en conséquence entre- « prendre encore d'autres voyages. Celui des Indes était « déjà arrêté. M. Le Gentil, à qui la commission en avait « été confiée, vu l'éloignement de sa destination, avait pris « les devants, et était parti dès 1760 pour Pondichéry. « L'observation qu'il comptait y faire était curieuse et inté- « ressante ; il devait y voir la durée entière du passage et « le milieu arriver presque au zénith. Les Anglais, de leur « côté, se disposaient à envoyer à l'île de Sainte-Hélène. « Ces différents lieux, à la vérité, devaient servir de termes « de comparaison avec Tobolsk ; mais, comme nous l'avons « déjà dit, on ne pouvait trop multiplier les observations ; « l'on eût été condamnable de négliger les situations les « plus avantageuses et de ne point profiter de la bonne « volonté et du zèle du gouvernement, qui ne demandait « pas mieux que de se prêter à tout ce qui pouvait être « utile relativement à l'objet du passage de Vénus. En « conséquence, M. de Lalande lut à l'Académie un Mémoire « dans lequel il insista beaucoup sur l'avantage considé- « rable d'envoyer un observateur sur la côte occidentale « d'Afrique, communément appelée la *côte de Cafrerie*. « Dans cette position, on devait obtenir l'observation la « plus concluante, celle qui devait faire face à toutes les « autres et dont l'observation même de Tobolsk tirait « presque toute son importance. M. Pingré, si connu par « ses travaux astronomiques et par un zèle intrépide dont « il a donné des preuves à l'Académie par tant de voyages, « s'offrit alors pour se rendre dans tel lieu que l'on jugerait

« à propos. Bien des considérations détournèrent cepen-
« dant de la côte de Cafrerie, malgré les avantages que l'on
« s'y promettait ; et enfin, après bien des discussions et
« un mûr examen, on se décida pour une des îles de l'océan
« Éthiopique appelée l'*île Rodrigue*. On devait y voir l'en-
« trée et la sortie de Vénus, avantage que n'offrait point
« la côte d'Afrique.

« Enfin, d'un autre côté, mon père (1), chargé par M. le
« duc de Choiseul de tracer une perpendiculaire à la méri-
« dienne qui traversât l'Allemagne jusqu'à Vienne, devait
« profiter de cette occasion pour aller faire dans cette ville
« impériale l'observation du passage de Vénus, conjointe-
« ment avec le P. Hell, habile observateur allemand.

« Tels furent les différents voyages projetés par les
« membres de l'Académie. Nous allons dire un mot de leur
« exécution.

« M. Le Gentil partit des côtes de France le 26 mars 1760,
« et arriva le 10 juillet à l'île de France. La guerre allumée
« alors entre la France et l'Angleterre ne lui permettant
« pas de se rendre à Pondichéry, il résolut de s'établir à
« l'île Rodrigue. Comme il était près d'exécuter ce projet,
« on fut obligé d'envoyer de l'île de France une frégate à
« la côte de Coromandel. Cette occasion était trop favo-
« rable pour ne pas en profiter. M. Le Gentil s'embarqua
« sur cette frégate le 11 mars 1761. Les calmes furent la
« moindre contrariété que ce vaisseau éprouva. Arrivés à
« la côte de Malabar le 24 mai, devant la ville de Mahé,

(1) Cassini de Thury, auquel on est principalement redevable de la grande carte de France connue sous le nom de *Carte de Cassini*.

« nos voyageurs trouvèrent les Anglais maîtres de cette « place, et apprirent qu'ils l'étaient aussi de Pondichéry; « une prompte fuite fut la seule ressource de la frégate « française. Il ne fallut plus penser à la côte de Coromandel, et, au grand regret de notre académicien, on résolut « de retourner à l'île de France. Le jour de l'observation « arriva dans l'intervalle de ce trajet. M. Le Gentil eut la « douleur de se trouver en mer le 6 juin, par 87 degrés de « longitude environ à l'est de Paris, et 5° 45′ de latitude « australe. Les circonstances d'un ciel pur et serein ajoutèrent encore à ses regrets. Il observa, aussi bien qu'on « peut le faire de dessus un vaisseau, l'entrée et la sortie; « mais on sent parfaitement qu'une telle observation ne « peut être d'aucun usage.

« M. Chappe partit de Paris à la fin de novembre 1760: « il parvint aisément à Pétersbourg, mais ce ne fut qu'après une route affreuse, incommode et même dangereuse pendant l'espace de près de cinq cents lieues, qu'il « se rendit à Tobolsk, lieu de sa destination. Il y arriva le « 10 avril, et eut tout le temps nécessaire pour se préparer « à l'observation du 6 juin . . . .

« M. Pingré partit en 1761, et arriva à Rodrigue au « mois de mai. Il trouva peu de ressources et de commodités dans un lieu qui n'est habité que par quelques « noirs, sous la conduite d'un seul officier. M. Pingré fut « obligé d'avoir son observatoire en plein air. Il n'y avait « dans l'île ni maçons ni menuisiers pour lui en construire « un plus solide et moins exposé. A peine trouva-t-il le « moyen de mettre sa pendule à l'abri du vent. Il fallut « toute l'adresse et la constance de cet astronome pour

« réussir à observer dans un lieu si incommode, où les « instruments étaient à chaque instant exposés à être ren- « versés ou dérangés par de fréquentes bouffées de vent. « Malgré tous ces obstacles, la multiplicité et l'accord des « observations de M. Pingré ne laissent rien à désirer. . .

« Mon père fit l'observation du passage de Vénus à « Vienne, dans l'observatoire des Jésuites, conjointement « avec le P. Liesganigg.... »

En même temps que s'exécutaient ces expéditions lointaines, entreprises par les académiciens français, des préparatifs analogues se faisaient dans d'autres pays.

L'Angleterre avait déjà annoncé dans les nouvelles publiques le départ d'un observateur pour l'Amérique septentrionale (d'après les indications données par Halley dans son Mémoire de 1716); la mappemonde publiée par de Lisle ayant montré l'inutilité de ce voyage, elle changea sa destination et l'envoya à l'île de Sainte-Hélène. Un autre astronome anglais s'embarqua aussi pour aller à Bencouly, dans l'île de Sumatra; mais le vaisseau fut attaqué, désemparé de plusieurs agrès, et ne put arriver qu'au Cap de Bonne-Espérance.

L'Académie des Sciences de Stockholm envoya des astronomes en Laponie et en divers endroits du nord de la Suède, avec de bons instruments; le roi de Danemark en envoya à Drontheim en Norvége, et l'Académie de Saint-Pétersbourg jusque sur les confins de la Tartarie et de la Chine.

Les résultats de cette immense entreprise ne répondirent guère à ce qu'on en attendait. Le temps et les circonstances empêchèrent la réussite des observations les plus

favorables. La durée totale du passage, qui ne put être observée d'une manière convenable qu'en huit endroits différents (Tobolsk, Stockholm, Cajanebourg, Upsal, Tornéa, Pékin, Madras, Calmar), ne varia même pas de 3 minutes, depuis la plus petite valeur, $5^h\ 48^m\ 53^s\ \frac{1}{4}$ (à Tobolsk), jusqu'à la plus grande, $5^h\ 51^m\ 43^s$ (à Madras); la comparaison des huit valeurs trouvées pour cette durée du passage fournit pour la parallaxe du Soleil des valeurs variant entre 8",94 et 10",60. D'un autre côté, l'application de la méthode indiquée par de Lisle, pour tirer la parallaxe du Soleil de la comparaison des observations incomplètes, beaucoup plus nombreuses que les précédentes, ne conduisit pas à des conséquences plus satisfaisantes. Pingré, en discutant ces observations, fut conduit à des résultats variés qui lui donnèrent en moyenne une valeur de 10",25 pour la parallaxe du Soleil. L'Anglais Short, au contraire, établit dans un long Mémoire, inséré dans le LIIIe volume des *Transactions philosophiques,* que toutes ces observations concouraient à donner à cette parallaxe une valeur de 8",56. Un autre Anglais, Hornsby, trouvait, à l'aide des mêmes observations, une valeur de 9",7.

« Le résultat du passage de 1761, dit l'auteur de l'*Histoire abrégée de la parallaxe du Soleil,* se réduisit donc, « j'ose le dire, à nous rendre plus indécis qu'auparavant. « La parallaxe du Soleil était fixée entre 9 $\frac{1}{2}$ et 10 $\frac{1}{3}$ secondes. Le passage de Vénus étendit les bornes de cette « variation depuis 8 $\frac{1}{2}$ jusqu'à 10 $\frac{1}{2}$ secondes.

« On eût eu lieu sans doute, ajoute J.-D. Cassini, d'être « inconsolable de la perte d'une pareille occasion, si elle « n'eût dû se renouveler huit années après. Mais le pas-

« sage de 1769 (3 juin) nous laissait l'espérance du dédom-
« magement, et devenait d'autant plus précieux que c'était
« le dernier phénomène de cette espèce dont notre géné-
« ration pût se flatter d'être témoin. L'observation en de-
« vait être mieux faite par les mêmes observateurs, que le
« passage de 1761 avait déjà exercés ; enfin, les résultats
« devaient être plus exacts et plus concluants, vu les cir-
« constances particulières, plus favorables dans ce dernier
« passage que dans l'autre. Aussi résolut-on de ne négliger
« aucun des voyages que l'on pourrait juger utiles, afin de
« se procurer les observations les plus complètes. L'expé-
« rience est notre plus grand maître ; le fruit de ses leçons
« nous indemnise du prix des années qu'elles nous coû-
« tent. Le principal but avait été manqué en 1761, faute
« d'avoir observé dans des lieux où les durées fussent
« assez différentes. Il était essentiel de ne pas tomber une
« seconde fois dans le même inconvénient.

« M. de Lalande publia, dès l'année 1764, une mappe-
« monde semblable à celle que M. de Lisle avait dressée
« pour le passage de 1761. M. Pingré fit aussi imprimer
« un Mémoire fort détaillé sur le choix et l'état des lieux
« où l'on pouvait se rendre, et M. Hornsby s'occupa aussi
« du même objet. Toutes ces recherches tendirent à dé-
« montrer combien il était essentiel de se transporter, d'un
« côté, vers le milieu de la mer du Sud, de l'autre vers le
« pôle boréal, au nord de la Laponie et du Kamtschatka.
« La Californie et le Mexique paraissaient aussi dans une
« position avantageuse pour l'observation de la durée.
« Dans la partie méridionale de l'Europe on ne devait voir
« que la sortie, et l'entrée seule devait avoir lieu pour l'A-

« mérique méridionale. Nous ne nous arrêterons pas à « décrire ici tous les voyages qui furent entrepris en con- « séquence, ni à détailler toutes les observations qui fu- « rent faites sur la surface du globe. Il est cependant trois « principaux voyages qui, par leur importance et l'utilité « que l'on en a retirée, méritent d'être ici distingués : celui « du R. P. Hell à l'île de Wardhus, celui de M. Chappe à « la Californie, et celui des Anglais à la mer du Sud.

« Le P. Hell fut invité à venir observer le passage de « Vénus dans les États et aux frais du roi de Danemark. « On avait vu pareillement en 1761 la Russie demander à la « France un astronome. Cette démarche avait fait égale- « ment honneur à l'une et à l'autre nation. Le choix du « souverain danois ne pouvait qu'être digne d'éloge dans « cette occasion. Le P. Hell partit le 28 avril 1768, accom- « pagné du P. Sainovics son confrère. Il arriva à Copen- « hague au mois de juin, et, après avoir traversé la Lapo- « nie, il se rendit à Wardhus le 11 octobre 1768. C'est « dans cet endroit qu'il s'établit pour faire l'observation « du passage de Vénus.....

« La destination de M. Chappe n'avait pas été d'abord « pour la Californie ; on désirait infiniment qu'il pût aller « dans la mer du Sud, situation la plus favorable pour l'ob- « servation. M. Chappe projetait en conséquence de se « rendre dans quelqu'une des îles de Salomon, situées « vers 180 degrés de longitude, et 8 degrés de latitude « australe ; mais il ne pouvait pénétrer dans ces parages « que sur un vaisseau espagnol, et avec la permission de la « cour d'Espagne, peu curieuse ordinairement de laisser « les étrangers prendre connaissance de ces mers. Aussi la

« négociation qui fut entamée à ce sujet ne put-elle réussir ;
« mais, en dédommagement, on consentit d'accorder pas-
« sage à M. Chappe sur la flotte qui devait partir pour
« l'Amérique septentrionale, et on lui permit de s'établir
« dans tel lieu du Mexique qu'il désirerait, et même de
« pénétrer jusqu'à la Californie. La cour d'Espagne voulut
« de plus partager l'honneur de cette expédition, en nom-
« mant de son côté deux astronomes pour se joindre à
« M. Chappe, et faire avec lui l'observation du passage de
« Vénus. Il fut décidé en conséquence que M. Chappe
« irait en Californie, et s'établirait le plus près qu'il pour-
« rait de la pointe australe de cette presqu'île, vers le cap
« Saint-Lucas, afin d'avoir la durée la plus courte pos-
« sible.....

« Tandis que M. Chappe avec les Espagnols dirigeait sa
« route vers la Californie, une frégate anglaise, partie
« incognito de Plymouth le 22 septembre 1768, alla dou-
« bler le cap Horn, pour entrer dans la mer du Sud sans
« en attendre la permission de l'Espagne. Cette frégate,
« nommée l'*Endeavour*, était commandée par le capitaine
« Cook. M. Green, habile astronome, élève du célèbre
« Bradley, et le Dr Solander, savant naturaliste, élève de
« M. de Linné, y étaient embarqués. Le but était de con-
« naître quelques îles de la mer du Sud, d'en découvrir
« d'autres nouvelles, et de chercher à faire l'observation
« du passage de Vénus dans la position la plus favorable
« que l'on pourrait trouver. Ce projet fut rempli avec tout
« le succès possible. Nos voyageurs découvrirent une
« quantité d'îles nouvelles. Ils abordèrent entre autres le
« 13 avril 1769 à l'île de Taïti, située par 228° 12' de lon-

« gitude à l'occident de Paris, et 17°28′55″ de latitude « australe. C'est là qu'ils se fixèrent pour l'observation du « passage de Vénus... »

Ces deux dernières expéditions, qui réussirent complétement pour l'observation du passage de Vénus, furent fatales aux astronomes qui les avaient entreprises. Chappe fut atteint, peu de jours après le 3 juin, par une épidémie qui régnait dans le village de Saint-Joseph, près duquel il s'était installé, et y mourut le 1er août. Médina, l'un des astronomes espagnols qui l'avaient accompagné, le suivit de près, et fut emporté également par cette épidémie. D'un autre côté Green, après avoir observé le passage à l'île de Taïti, s'était mis en route pour retourner en Europe, lorsqu'il mourut aux Indes.

Un autre astronome, Véron, avait accompagné Bougainville dans son voyage autour du monde, espérant observer le passage de Vénus en un des points de la mer du Sud; arrivé trop tôt dans cette mer, il fut obligé de continuer sa route sans y avoir fait cette importante observation. Ayant atteint l'île de France, il voulut se rendre à Pondichéry; mais cette fois il arriva trop tard, et mourut bientôt après.

Nous avons vu que Legentil, par des circonstances fatales, avait manqué l'observation du passage de 1761, ou du moins qu'il avait observé le phénomène, étant en mer, ce qui est l'équivalent pour les conséquences précises qu'on voulait en tirer. De peur de manquer de même le passage de 1769, il eut le courage de s'installer à Pondichéry et d'y attendre pendant huit ans l'arrivée de ce nouveau passage. Mais il ne fut pas plus heureux : le 3 juin 1769, au

moment où il se préparait à faire l'observation, un nuage vint se placer devant le Soleil et la lui fit manquer encore.

L'observation de ce nouveau passage du 3 juin 1769 fut faite d'une manière bien plus satisfaisante que celle du passage de 1761. La durée totale fut observée dans de bonnes conditions en cinq endroits différents (Wardhus, Kola, Fort du Prince-de-Galles dans la baie d'Hudson, Saint-Joseph en Californie, île de Taïti); cette durée présenta des valeurs très-diverses, depuis la plus petite de $5^h 30^m 4^s$ (à Taïti) jusqu'à la plus grande de $5^h 53^m 14^s$ (à Wardhus). Un nombre beaucoup plus grand d'observations incomplètes, se rapportant, soit à l'entrée de Vénus sur le disque du Soleil, soit à sa sortie, furent faites d'ailleurs de tous côtés.

La discussion de toutes ces observations fut entreprise par un grand nombre de savants. Plus de deux cents mémoires furent publiés sur ce sujet. Les conclusions de ces divers mémoires ne se trouvèrent pas identiquement les mêmes; mais les divergences qu'elles présentèrent furent loin d'être aussi grandes que celles qui avaient été trouvées pour le passage de 1761. Voici quelques-uns des résultats obtenus :

Suivant	Euler, la parallaxe	du Soleil serait de	8,82
—	Hornsby,	—	8,78
—	Pingré,	—	8,88
—	le P. Hell,	—	8,70
—	Lalande,	—	8,60

Cette dernière valeur, la plus petite de toutes, est donnée par Lalande avec une grande assurance; cet astronome dit que, d'après l'ensemble des observations du passage de

1769, la parallaxe du Soleil doit être *incontestablement* fixée à 8″,5. Pingré, en examinant et discutant ces divers résultats, combat celui de Lalande comme trop faible, et se rallie à la moyenne de ceux obtenus par Euler et Hornsby; il termine en disant : « De deux choses l'une, ou il faut renoncer à tirer aucune induction du passage de Vénus, « arrivé le 3 juin 1769, ou il faut convenir que la parallaxe « du Soleil est *à très-peu près* de 8″,8. »

Telles furent les conséquences de cette seconde entreprise, conséquences qui étaient loin d'être aussi nettes qu'on s'y était attendu. Il restait encore sur la valeur de la parallaxe du Soleil une incertitude de près de $\frac{4}{10}$ de seconde; c'est-à-dire que la parallaxe ne pouvait être regardée comme connue qu'à $\frac{1}{22}$ ou $\frac{1}{23}$ près de sa valeur. C'était bien loin de ce qu'avait annoncé Halley, qui prétendait que l'observation d'un passage de Vénus pouvait fournir la valeur de la parallaxe à $\frac{1}{500}$ près de cette valeur. Mais il fallait se résigner à se contenter de l'approximation beaucoup moindre à laquelle on était parvenu, et cela pendant bien longtemps, puisqu'il devait s'écouler plus d'un siècle avant qu'il se produisît un nouveau passage de Vénus sur le Soleil.

Moyens indirects d'obtenir la valeur de la parallaxe du Soleil. — Équation parallactique de la Lune. — Équation lunaire du Soleil. — Vitesse de la lumière.

Les diverses méthodes que nous avons fait connaître précédemment, pour déterminer la parallaxe du Soleil et par suite la distance de cet astre à la Terre, supposent

toutes des observations spéciales, faites directement en vue d'arriver à ce résultat. Nous allons voir qu'on peut encore atteindre le même but par d'autres moyens, en déduisant indirectement la valeur de la parallaxe du Soleil de recherches d'une tout autre nature.

1° *Par l'équation parallactique de la Lune.* — En se basant sur la théorie de la gravitation universelle, dont la complète exactitude est une des vérités scientifiques les mieux établies, on parvient à déterminer l'expression des diverses inégalités dont le mouvement de la Lune est affecté. Parmi ces inégalités, il y en a une entre autres, qui dans son maximum atteint une valeur de plus de 2 minutes de degré, et qui se trouve être proportionnelle au rapport des distances moyennes de la Lune et du Soleil à la Terre. Si ce rapport est supposé connu, on peut calculer complétement la valeur numérique de l'inégalité dont il s'agit. Mais si, au contraire, on laisse ce rapport indéterminé, on peut se proposer de chercher la valeur qu'il faut lui attribuer, pour que les positions diverses que la théorie assigne successivement à la Lune dans le ciel s'accordent le mieux possible avec les indications fournies par l'observation de cet astre. La valeur de ce rapport des distances moyennes de la Lune et du Soleil à la Terre étant ainsi déterminée, on en conclut la distance du Soleil à la Terre, et aussi la parallaxe du Soleil, puisque la distance de la Lune à la Terre est connue. Cette inégalité de la Lune, qui peut ainsi fournir la valeur de la parallaxe du Soleil, se nomme pour cette raison *équation parallactique*.

2° *Par l'équation lunaire du Soleil.* — Si la Lune n'exis-

tait pas, le centre de la Terre se mouvrait autour du Soleil conformément aux lois du mouvement elliptique, mouvement qui serait toutefois un peu altéré par l'existence des inégalités dues à l'action perturbatrice des autres planètes. L'existence de la Lune fait que le mouvement de la Terre est un peu plus complexe. Dans ce cas, ce n'est plus le centre de la Terre, mais bien le centre de gravité de la Terre et de la Lune prises ensemble, qui se meut comme nous venons de le dire; et en même temps le centre de la Terre et celui de la Lune tournent simultanément autour de ce centre de gravité, point qui doit toujours être situé sur la ligne droite qui les joint. Ce mouvement de révolution du centre de la Terre autour du centre de gravité commun est tout pareil à celui du centre de la Lune autour du même point, sauf l'amplitude du mouvement qui est plus petite, parce que la masse de la Terre est plus grande que celle de la Lune, ce qui fait que le centre de gravité commun est plus près du centre de la Terre que du centre de la Lune. Vue du Soleil, la Terre doit donc sembler soumise à une inégalité en vertu de laquelle elle se trouve, tantôt d'un côté, tantôt de l'autre de ce centre de gravité commun. Si la masse de la Lune était juste la cinquante-neuvième partie de la masse de la Terre, comme la distance des centres de ces deux corps est de 60 rayons terrestres (nous raisonnons pour simplifier comme si la distance de la Lune à la Terre était constante), il s'ensuivrait que le centre de gravité de la Lune et la Terre prises ensemble serait situé précisément au point où la surface de la Terre est percée par la ligne droite allant de son centre au centre de la Lune; la distance du centre de la

Terre au centre de gravité commun serait donc égale au rayon de la Terre; et par suite l'inégalité dont nous venons de parler, pour un observateur qui verrait la Terre, étant placé au centre du Soleil, aurait pour valeur maximum l'angle sous-tendu par le rayon terrestre vu de face de ce point, c'est-à-dire précisément ce que nous nommons la parallaxe du Soleil. La masse de la Lune étant en réalité un peu plus petite que nous ne l'avons supposé il y a un instant, la valeur maximum de l'inégalité dont nous venons de parler est plus petite que la parallaxe du Soleil; mais elle est à cette parallaxe dans un rapport connu, si l'on connaît le rapport de la masse de la Lune à celle de la Terre. Or le mouvement apparent du Soleil, pour un observateur placé sur la Terre, est exactement le même que le mouvement de la Terre vu du Soleil; le Soleil doit donc être soumis, dans son mouvement apparent, à cette même inégalité dont nous venons de parler, qui dépend à chaque instant de la position de la Lune, et dont la grandeur est dans un rapport déterminé avec la parallaxe du Soleil. Si, en comparant les indications de la théorie aux données fournies par de nombreuses observations du Soleil, on parvient à trouver la grandeur de cette inégalité, connue sous le nom d'*équation lunaire du Soleil,* on en conclura immédiatement la parallaxe du Soleil, à laquelle elle est proportionnelle, pourvu bien entendu que l'on connaisse le rapport de la masse de la Lune à la masse de la Terre.

3° *Par la vitesse de la lumière, combinée avec l'aberration.* — Nous avons expliqué dans une précédente Notice (*Annuaire* de 1865) comment, par l'observation du phénomène

connu sous le nom d'*aberration,* on est parvenu à trouver le rapport de la vitesse moyenne de la Terre, dans son mouvement annuel autour du Soleil, à la vitesse de la lumière : la valeur de l'aberration étant fixée à 20",45, d'après W. Struve, il en résulte que la vitesse de la lumière est 10089 fois plus grande que la vitesse moyenne de la Terre dans son orbite. Si donc, par des procédés d'expérience d'une exactitude suffisante, on parvient à mesurer directement la vitesse de la lumière, on en conclura tout de suite la vitesse moyenne de la Terre dans son orbite annuelle ; on sait d'ailleurs que la Terre emploie $365\frac{1}{4}$ jours à faire tout le tour de cette orbite : le chemin parcouru pendant ces $365\frac{1}{4}$ jours, en vertu de la vitesse moyenne dont on vient de parler, chemin qui se calculera avec la plus grande facilité, sera la longueur de la circonférence de l'orbite terrestre, d'où l'on déduira immédiatement le rayon de l'orbite supposée circulaire, c'est-à-dire la distance moyenne du Soleil à la Terre. Ainsi la mesure directe de la vitesse de la lumière, effectuée par exemple par l'un des ingénieux procédés imaginés par MM. Fizeau et Foucault, conduira encore à la connaissance de la parallaxe du Soleil.

Incertitude dans laquelle le dernier passage de Vénus a laissé les astronomes au sujet de la parallaxe du Soleil. — Tentatives diverses pour en sortir.

Nous avons vu que le dernier passage de Vénus sur le Soleil, celui de 1769, avait laissé la valeur de la parallaxe

du Soleil indécise entre 8'',50 et 8'',88. Ce défaut de précision dans le résultat obtenu ne pouvait cependant pas être considéré comme inhérent à la méthode employée pour y arriver. Tout en se décidant à ne pas porter aussi loin que Halley le degré d'exactitude auquel peut conduire la méthode des passages, il est impossible de refuser à cette méthode célèbre une supériorité très-marquée sur les diverses autres méthodes qui ont été imaginées pour atteindre le même but.

Si nous examinons ces diverses méthodes, nous verrons tout d'abord que celle d'Aristarque, et à plus forte raison celle d'Hipparque, ne peuvent nullement être employées pour contrôler en quoi que ce soit les résultats fournis par les autres. Ces méthodes primitives, toutes deux très-ingénieuses, ont fait leur temps. Pendant bien des siècles, elles ont eu leur utilité, du moins celle d'Aristarque, pour donner aux astronomes une première idée de la distance qui nous sépare du Soleil. Mais l'invention des lunettes, en permettant de recourir à des moyens plus précis, les a définitivement mises de côté, en les reléguant dans le domaine de l'histoire.

Les seules méthodes auxquelles on puisse avoir recours, dans l'état actuel de la science, pour obtenir la valeur de la parallaxe du Soleil, sont : 1° celle qui repose sur l'observation de Mars en opposition, ou de Vénus en conjonction inférieure ; 2° celle des passages de Vénus sur le Soleil ; 3° les trois méthodes indirectes que nous venons de faire connaître en dernier lieu.

Un mot d'abord de ces méthodes indirectes. Si l'on cherche à se rendre un compte exact de la manière dont

chacune d'elles conduit à la valeur de la parallaxe du Soleil, on verra qu'elles ne peuvent guère être considérées que comme des moyens de contrôle, et non comme des moyens de détermination absolue, présentant en eux-mêmes des garanties suffisantes pour qu'on ait une entière confiance dans la valeur des résultats qu'elles fournissent. Des causes diverses, en effet, peuvent influer sur ces résultats et contribuer à altérer la valeur de la parallaxe solaire à laquelle conduisent ces méthodes indirectes.

Si l'on emploie la méthode de l'équation parallactique de la Lune, il semble qu'on soit dans d'excellentes conditions pour trouver la parallaxe du Soleil, puisque, pour obtenir la valeur de cette parallaxe qui n'atteint pas 9 secondes, on est conduit à tirer des observations la valeur de l'équation parallactique qui est environ 14 fois plus grande. Mais cette méthode suppose que l'on connaît bien, d'une part la relation intime qui lie l'équation parallactique à la parallaxe du Soleil, d'une autre part les valeurs numériques de toutes les autres inégalités de la Lune, conditions que l'on peut à peine regarder comme remplies dans l'état actuel de la science, vu la complexité extrême de la théorie du mouvement de la Lune autour de la Terre.

La méthode de l'équation lunaire du Soleil suppose de même la connaissance exacte des diverses inégalités du mouvement apparent du Soleil autour de la Terre. Ces inégalités sont beaucoup mieux connues dans leur ensemble que les inégalités de la Lune, en raison de ce que la théorie du mouvement du Soleil est incomparablement plus simple que la théorie du mouvement de la Lune. Mais en

revanche l'équation lunaire du Soleil, dont la détermination d'après les observations peut conduire à la valeur de la parallaxe du Soleil, se trouve être notablement plus petite que cette parallaxe même, de sorte que l'erreur commise sur l'équation lunaire en entraîne une plus grande sur la valeur de la parallaxe ; et d'ailleurs cette méthode repose essentiellement sur la connaissance du rapport de la masse de la Lune à la masse de la Terre, rapport sur lequel les astronomes conservent encore une grande incertitude. En somme, pour ces deux raisons, la méthode de l'équation lunaire du Soleil n'est pas capable de fournir un résultat aussi certain que celui qu'on est en droit d'attendre de la méthode de l'équation parallactique de la Lune.

La méthode qui est basée sur la mesure de la vitesse de la lumière et sur celle de l'aberration ne peut conduire à un résultat précis qu'autant que ces deux mesures sont effectuées l'une et l'autre avec une exactitude suffisante. Si la vitesse de la lumière est supposée bien connue, on voit que la mesure de la parallaxe du Soleil est ramenée à la détermination directe de l'aberration, qui dépasse à peine le double de cette parallaxe ; de sorte qu'une erreur de $\frac{2}{10}$ de seconde sur l'aberration en entraînerait une de $\frac{1}{10}$ de seconde sur la parallaxe. Mais, d'un autre côté, la mesure directe de la vitesse de la lumière à la surface de la Terre est une opération des plus délicates, sur laquelle peuvent influer diverses causes d'erreur, et la valeur de cette vitesse ne pourra pas être regardée comme bien déterminée qu'autant qu'elle aura été obtenue sans divergences notables par des méthodes essentiellement différentes.

Les mesures directes de parallaxe, effectuées, soit par l'observation de Mars en opposition ou de Vénus en conjonction inférieure, soit par l'observation des passages de Vénus sur le Soleil, sont donc les seules qui soient de nature à porter immédiatement la conviction dans l'esprit. La détermination exacte de la parallaxe du Soleil par ces mesures directes suppose uniquement que les observations astronomiques entreprises en vue d'y arriver sont bien faites, et ne repose en aucune manière sur l'exactitude de résultats d'une nature différente, obtenus par d'autres moyens ; de sorte que l'accord que l'on pourra trouver entre les valeurs fournies par un grand nombre de ces mesures directes, répétées dans toutes les occasions qui permettront de les reproduire, devra faire regarder comme exacte la parallaxe à laquelle toutes ces mesures auront conduit.

Comparons maintenant entre elles ces méthodes directes, au point de vue du degré de précision qu'elles comportent respectivement. Nous laisserons de côté pour cela l'observation de Vénus en conjonction inférieure, observation qui ne peut que rarement être faite dans des conditions convenables, et qui alors est de nature à être confondue, pour la précision des résultats, avec l'observation de Mars en opposition. Nous sommes ainsi ramenés à mettre en présence, d'une part la méthode basée sur l'observation de Mars en opposition, d'une autre part la méthode basée sur l'observation du passage de Vénus sur le Soleil. La première de ces deux méthodes a pour objet direct de déterminer la parallaxe de Mars, par la mesure des différences de positions que la planète semble occuper parmi

les étoiles, pour des observateurs placés en divers points du globe terrestre ; la seconde a pour objet direct de trouver la parallaxe relative de Vénus par rapport au Soleil, par la mesure des différences de positions relatives que présentent ces deux astres, pour des observateurs placés également en divers points de la Terre. Or la parallaxe absolue de Mars en opposition, et la parallaxe relative de Vénus par rapport au Soleil lors d'un passage de cette dernière planète, sont deux quantités qui ne diffèrent pas beaucoup l'une de l'autre ; elles sont habituellement comprises toutes deux entre le double et le triple de la parallaxe du Soleil que l'on cherche. Si les opérations qui servent à les déterminer l'une et l'autre présentaient le même degré d'exactitude, on en conclurait la parallaxe du Soleil avec une approximation qui serait sensiblement la même, quel que fût celui de ces deux moyens que l'on emploierait. Mais il est aisé de voir qu'il n'en est pas ainsi. Il s'agit bien, dans les deux cas, de déterminer, en divers lieux d'observation, les positions apparentes de Mars par rapport aux étoiles voisines et de Vénus par rapport au centre du Soleil ; mais, tandis que pour Mars cette détermination se fait par la mesure des distances angulaires qui séparent la planète de quelques étoiles, pour Vénus elle s'effectue par l'observation des instants précis où le disque de la planète est en contact géométrique avec le disque du Soleil, genre d'observation qui comporte incomparablement plus d'exactitude que la mesure de la distance angulaire de deux astres. Il n'est donc pas douteux que la méthode des passages de Vénus soit de nature à fournir la valeur de la parallaxe du Soleil avec une précision beau-

coup plus grande que la méthode basée sur l'observation de Mars en opposition.

A quoi tiennent donc les différences notables que présentent les diverses valeurs de la parallaxe du Soleil déduites du passage de Vénus de 1769, différences qui s'élèvent à près de $\frac{4}{10}$ de seconde, tandis qu'elles devraient tout au plus aller à $\frac{2}{100}$ ou $\frac{3}{100}$ de seconde? On ne peut les attribuer qu'à ce que les résultats immédiats des observations n'ont pas été obtenus avec toute l'exactitude que ce genre d'observation comporte. Le phénomène n'est pas aussi simple qu'on peut le croire au premier abord; il ne se réduit pas uniquement aux circonstances très-nettes que présenteraient deux cercles géométriques, de grandeurs inégales, dont le plus petit s'avancerait vers le plus grand de manière à traverser deux fois le contour de ce plus grand cercle, en lui devenant successivement tangent, soit à l'extérieur, soit à l'intérieur. L'irradiation, qui agrandit le disque du Soleil et rétrécit en même temps le disque noir de Vénus projeté sur la surface du Soleil, modifie les apparences que présentent ces deux disques au moment des contacts, surtout des contacts intérieurs. Lorsque les disques réels, c'est-à-dire les disques tels qu'on les verrait si l'irradiation n'existait pas, sont en contact intérieur l'un avec l'autre, les contours circulaires des disques tels qu'on les aperçoit ne semblent pas avoir l'un avec l'autre un contact géométrique : le contour rétréci de la planète semble écarté, d'une certaine quantité, de la partie la plus voisine du contour élargi du Soleil; les pointes lumineuses, dirigées en regard l'une de l'autre, que doivent présenter les parties du disque solaire situées en dehors

du disque de la planète, de part et d'autre du point de contact des deux disques, sont élargies de chaque côté, et, par suite de ce double élargissement, paraissent émoussées ; la petite distance qui paraît exister entre le contour rétréci de la planète et le contour agrandi du Soleil est occupée, entre les deux pointes émoussées dont nous venons de parler, par une sorte de *goutte noire,* qui forme comme une protubérance du disque de la planète à l'endroit où a lieu son contact avec le disque du Soleil. Si le contact intérieur dont il s'agit se rapporte à l'entrée de la planète sur le Soleil, cette protubérance ou goutte noire se développe peu à peu, à mesure que la planète s'avance sur le Soleil ; il semblerait que la planète, formée d'une matière molle et glutineuse, a une certaine adhérence avec l'espace qui environne le Soleil, et qu'avant qu'elle abandonne complétement cet espace, une partie de sa matière s'étire de manière à prolonger cette adhérence pendant quelque temps. Puis tout à coup cette goutte noire disparaît par la réunion brusque des deux pointes lumineuses émoussées entre lesquelles elle était placée, et le disque de la planète reprend sa forme exactement circulaire, au milieu de la lumière du Soleil qui l'environne de toutes parts. Les mêmes circonstances se présentent, dans un ordre inverse, lors de la sortie de la planète. Les astronomes, surpris par ce phénomène inattendu, ont éprouvé un certain embarras dans l'appréciation de l'instant précis du contact ; les uns ont pris pour cela l'instant où les contours des deux disques, prolongés idéalement entre les pointes lumineuses émoussées dont nous avons parlé, leur ont semblé avoir entre eux un contact intime ; d'autres ont pris, au contraire, l'instant de la

formation ou de la rupture brusque du filet lumineux entre ces deux pointes émoussées. S'il est arrivé en outre que, pour un certain nombre des observations qui ont été faites, les lunettes employées n'étaient pas complétement *mises au point* par un enfoncement convenable de l'oculaire dans le tuyau de l'instrument, le défaut de netteté de l'image observée a dû augmenter la confusion. Plusieurs observations ont été faites près de l'horizon, dans des circonstances très-défavorables, où les images vues dans les lunettes présentaient des ondulations continuelles qui empêchaient de distinguer avec certitude l'instant précis du contact. Si enfin on joint à cela le défaut d'expérience des astronomes dans l'observation d'un phénomène aussi rare, et surtout l'émotion extrême causée par la grande importance de cette observation qui dans chacune de ses phases ne pouvait être faite qu'une fois et qu'il était impossible de recommencer, on comprendra sans peine que les résultats immédiats de toutes les observations du passage aient été entachés d'erreurs qui ne tiennent pas au fond même de la méthode imaginée par Halley, et qu'on peut avoir l'espoir de voir disparaître, à force de précautions préalables, lorsqu'une nouvelle occasion se présentera de refaire des observations du même genre.

Cette défectuosité des observations, à laquelle on doit attribuer le peu de succès obtenu dans l'observation du passage de 1769, bien que ce passage ait été observé dans des conditions beaucoup meilleures que celui de 1761, est clairement mise en évidence par le peu d'accord des nombres trouvés en un même lieu, et pour une même phase du phénomène, par des observa-

teurs différents. Ainsi, à l'Observatoire de Paris, où l'on ne put observer que l'entrée de Vénus sur le Soleil, le contact intérieur des deux disques a eu lieu :

Suivant Cassini de Thury, à.	7^h	38^m	53^s	du soir.
Suivant Maraldi, à.	7	38	50	—
Suivant le duc de Chaulnes, à. . . .	7	38	58	—
Suivant Dionis du Séjour, à.	7	38	43	—

Ainsi encore, à Taïti, la même phase du phénomène a été observée :

Par Green, à	9^h	43^m	$55^s,5$	du matin.
Par Cook, à.	9	44	15, 5	—
Par Solander, à.	7	44	2, 5	—

Quand on voit des différences de 15 secondes à Paris, et de 20 secondes à Taïti, entre les instants auxquels divers observateurs placés dans le même lieu ont rapporté le premier contact intérieur des deux disques, on est forcé d'admettre que plusieurs des résultats immédiats de l'observation du phénomène sont entachés d'erreurs considérables. D'un autre côté, Chappe, lors de l'observation du passage de 1761, qu'il avait été chargé de faire à Tobolsk, a vu cette phase du premier contact intérieur se produire avec tant de netteté, qu'il déclare qu'il ne croit pas qu'il puisse y avoir $\frac{1}{4}$ de seconde d'incertitude sur l'instant de sa production. C'est aussi ce qu'avait jugé Halley lors de l'observation qu'il fit d'un passage de Mercure, dans l'île de Sainte-Hélène, en 1678, et ce qui lui avait suggéré l'idée d'employer l'observation d'un phénomène aussi net pour déterminer avec précision la parallaxe du Soleil.

Ajoutons encore une remarque sur l'observation faite en

1769, par le P. Hell, à Wardhus. Cette observation a été faite de part et d'autre de minuit, c'est-à-dire dans les conditions les plus favorables pour fournir une grande différence de durée avec celles qui, dans d'autres lieux, se faisaient de part et d'autre de midi. L'observation de Wardhus a été d'ailleurs la seule complète qui se trouvât dans ces conditions spéciales. Or le temps assez long qui s'écoula entre le phénomène et la publication par le P. Hell des nombres que l'observation de ce phènomène lui avait fournis, fit soupçonner la loyauté de cet observateur, et donna lieu de penser que les nombres qu'il faisait connaître si tardivement ne lui avaient pas été réellement fournis par l'observation; qu'il les avait arrangés après coup, en vue du résultat qu'on devait en tirer. Ce soupçon, d'une extrême gravité, ne fut pas partagé par tous les savants qui s'occupèrent de la question; mais, pour quelques-uns, la fabrication supposée des nombres publiés ainsi tardivement par le P. Hell était la cause principale du peu d'accord entre les résultats auxquels diverses discussions de l'ensemble des observations avaient conduit.

Quoi qu'il en soit, l'opération de la mesure de la parallaxe du Soleil par l'observation du passage de Vénus avait été manquée une seconde fois, en 1769, moins complétement toutefois qu'en 1761; et l'on était obligé d'attendre plus de cent ans, jusqu'en 1874, pour refaire une opération du même genre. Tout en se contentant forcément du peu de précision avec lequel ce passage de 1769 avait donné la parallaxe du Soleil, on ne négligea cependant pas d'employer de temps en temps quelqu'un des autres moyens plus imparfaits que l'on avait à sa disposition, pour trouver la

valeur de cette parallaxe et contrôler par là la valeur à laquelle on avait cru pouvoir provisoirement s'arrêter. De nouvelles tentatives furent faites aussi, de temps à autre, pour essayer de tirer, des observations de passage faites en 1761 et 1769, des résultats plus concluants que ceux qu'on en avait déduits auparavant. Nous ne dirons qu'un mot de ces diverses déterminations de la parallaxe du Soleil, effectuées depuis le passage de 1769.

Dionis du Séjour, en discutant de nouveau les observations des passages de 1761 et 1769, et ne tenant compte que des observations complètes où la durée totale du phénomène avait été obtenue, trouve pour la parallaxe du Soleil 8″,85 (*Traité analytique des mouvements apparents des corps célestes,* t. Ier, Paris, 1786).

Laplace, en déterminant la valeur de l'équation parallactique de la Lune, par la comparaison de sa théorie de la Lune avec les observations, trouve 8″,56 pour la parallaxe du Soleil (*Mécanique céleste,* t. III, Paris, 1802).

Delambre, par la discussion des observations du passage de 1769, trouve également pour cette parallaxe 8″,56 (*Astronomie théorique et pratique,* t. II, Paris, 1814).

La même discussion, étendue à la fois aux observations de 1761 et à celles de 1769, a été reprise avec un très-grand soin par Encke, qui en a conclu pour la parallaxe du Soleil une valeur de 8″,57 (*La distance de la Terre au Soleil déduite des passages de Vénus;* Gotha, 1822 et 1824).

Quelques années auparavant, de Ferrer, par une discussion analogue appliquée seulement au passage de 1769, avait trouvé pour la parallaxe du Soleil 8″,58, valeur qui, suivant lui, ne comporte pas une erreur de plus de 0″,03.

Le mémoire très-important qu'il a écrit sur ce sujet, et qui est daté de Cadix, 29 décembre 1815, a été imprimé après sa mort, en 1832, dans les *Mémoires de la Société astronomique de Londres*.

L'identité pour ainsi dire absolue du résultat de Encke avec ceux de Laplace, Delambre et de Ferrer, fit généralement admettre 8",57 comme étant la véritable valeur de la parallaxe du Soleil ; mais plus tard de nouveaux doutes surgirent sur cette valeur.

Henderson ayant observé Mars en opposition, au Cap de Bonne-Espérance, en 1832, la comparaison de ses observations avec celles qui avaient été faites en même temps en Angleterre fournit pour la parallaxe du Soleil une valeur de 9",12.

M. Hansen, dans une lettre adressée à l'astronome royal d'Angleterre, M. Airy, en novembre 1854, annonce que la comparaison de sa *Théorie de la Lune* aux observations lui a montré la nécessité d'augmenter la valeur de l'équation parallactique de cet astre, d'où résulte nécessairement une augmentation de la valeur adoptée pour la parallaxe du Soleil. Plus tard, il fixe à 8",92 la valeur que ses recherches théoriques l'ont conduit à assigner à cette parallaxe.

M. Le Verrier, par la comparaison de la théorie du Soleil avec de nombreuses observations de cet astre, trouve que l'équation lunaire du Soleil a pour valeur 6",50 ; il en conclut pour la parallaxe du Soleil une valeur de 8",95 (*Annales de l'Observatoire,* t. IV, Paris, 1858).

M. Foucault étant parvenu à mesurer directement la vitesse de la lumière par une remarquable expérience de laboratoire, on a conclu que, si l'on adopte 20",45 pour la

valeur de l'aberration, il en résulte pour la parallaxe du Soleil une valeur de 8",86 (septembre 1862).

De nombreuses et importantes observations de Mars en opposition ayant été effectuées de nouveau à l'instigation de M. Airy, lors de l'opposition très-favorable de 1862, on en a déduit de nouvelles valeurs de la parallaxe du Soleil. Ainsi M. Stone, en comparant les observations faites simultanément à Greenwich (Angleterre) et à Williamstown (Australie), a trouvé 8",93 pour cette parallaxe. D'un autre côté, M. Winnecke, par la comparaison des observations faites à Poulkowa (Russie) et au Cap de Bonne-Espérance, a obtenu la valeur de 8",96.

Enfin M. Powalky, ayant repris tout récemment, en 1864, la discussion des diverses données fournies par l'observation du passage de Vénus de 1769, a trouvé par cette discussion que la valeur la plus probable de la parallaxe du Soleil était 8",86.

Que pouvons-nous conclure de l'ensemble de ces déterminations si variées de la parallaxe du Soleil? C'est que de nouvelles observations doivent être faites en vue de fixer plus complétement la valeur de cet important élément, par la méthode la plus précise que nous puissions employer, c'est-à-dire par la méthode des passages de Vénus. En attendant que l'occasion s'en présente, ce que nous pouvons dire de plus certain, c'est que la parallaxe du Soleil paraît indubitablement comprise entre 8",5 et 9 secondes. Si les déterminations les plus récentes tendent à montrer qu'elle se rapproche plus de la seconde de ces deux limites que de la première, on doit remarquer qu'en revanche la moyenne des résultats tirés des observations des passages

de 1761 et 1769 la met au contraire plus près de la première limite que de la seconde. En prenant un milieu entre ces deux limites, on trouve 8″,75 ; si telle était la vraie valeur de la parallaxe du Soleil, il en résulterait que la distance moyenne du Soleil à la Terre est de 23 573 rayons terrestres, ou à peu près 150 millions de kilomètres.

Prochaine observation de deux nouveaux passages de Vénus, en 1874 et en 1882.

L'incertitude assez grande dans laquelle on se trouve encore relativement à la valeur de la parallaxe du Soleil fait voir avec un grand intérêt l'approche de deux nouveaux passages de Vénus sur le Soleil, passages qui doivent avoir lieu, l'un le 9 décembre 1874, l'autre le 6 décembre 1882. On se prépare déjà à faire l'observation de ce rare et important phénomène dans les conditions les meilleures, en profitant des enseignements fournis par les observations de 1761 et 1769. Étant averti d'avance des difficultés et des causes d'erreur que présente ce genre d'observation, on emploiera tous les moyens possibles pour vaincre les unes et éviter les autres, de manière à obtenir des données plus précises et plus concluantes que celles auxquelles on est arrivé lors de ces précédentes observations. Il y a tout lieu d'espérer qu'à la suite de ces deux nouveaux passages de Vénus, la parallaxe du Soleil sera connue avec toute la précision désirable, et ne comportera plus qu'une incertitude de deux ou trois centièmes de seconde.

Il y a déjà plus de huit ans que M. Airy a fait à la Société Astronomique de Londres une importante communication à ce sujet (avril 1857). En se basant sur les calculs faits, à sa demande, par M. Breen l'un de ses assistants, l'astronome royal d'Angleterre examine successivement chacun des deux prochains passages de Vénus, au double point de vue de l'emploi des observations complètes, qui donnent la durée totale du passage en chaque lieu d'observation (méthode de Halley), et de l'emploi des observations incomplètes, qui donnent seulement l'heure absolue du commencement ou de la fin du phénomène (méthode de de Lisle, qui suppose une connaissance plus exacte de la longitude de chaque lieu d'observation). Voici ce qu'il dit :

« 1° Application de la méthode de différence de durée « des passages au passage de 1874.

« On a déjà remarqué que dans ce passage il n'est pas « possible de combiner l'effet de la rotation de la Terre « avec l'effet de la différence de latitude des stations, de « manière à accroître la différence des durées du passage « qui proviendrait seulement de la différence de latitude. « Et si nous considérons l'effet des différences de latitude « seulement, nous trouvons que les circonstances ne sont « pas très-favorables. Les stations les plus septentrionales « se trouveront en Sibérie, en Tartarie et au Thibet (pays « qui ne sont guère visités par les astronomes en décem- « bre), sur les côtes de la Chine et dans le nord de l'Inde « britannique. Les plus méridionales seront dans l'île de « Kerguelen, la terre de Van-Diémen et la Nouvelle-Zé- « lande. Mais la différence de durée que l'on pourra ob-

« server ne sera probablement pas la moitié de celle que « l'on observera en 1882.

« 2° Application de la méthode de différence des temps « absolus (observations incomplètes) au passage de 1874.

« Pour l'entrée, des positions favorables se trouveront « à Owhyhée (où le déplacement de l'observateur tend à « rejeter Vénus sur le disque du Soleil, c'est-à-dire à accé- « lérer l'entrée), et aux îles Bourbon, Maurice et Kergue- « len (où le déplacement de l'observateur tend à éloigner « Vénus du bord du Soleil, c'est-à-dire à retarder l'en- « trée). Pour la sortie, la Sicile, l'Italie et les parties de « l'Europe situées à l'ouest de la mer Noire sont situées « de manière à rejeter Vénus sur le disque du Soleil, ou à « retarder la sortie ; tandis que la Nouvelle-Zélande, la « Nouvelle-Calédonie, la terre de Van-Diémen et l'Aus- « tralie orientale sont bien situées pour accélérer cette « même sortie. Mais il est douteux que la longitude d'au- « cune de ces stations, sauf de celles d'Europe, soit encore « connue avec une exactitude suffisante.

« 3° Application de la méthode de différence de durée « des passages au passage de 1882.

« Nous avons déjà montré qu'il existe deux régions pou- « vant contenir chacune un nombre suffisant de stations qui « sont particulièrement favorables pour faire ces observa- « tions. Il est à remarquer, en effet, qu'il est très-impor- « tant d'avoir plusieurs stations assez voisines pour que le « phénomène astronomique y soit vu à peu près de la même « manière, mais en même temps suffisamment distantes « pour éliminer l'effet local d'un état nébuleux du ciel. A « l'occasion de l'éclipse de 1842, les astronomes de Turin

« ne virent rien, par suite de l'état nébuleux de leur at-
« mosphère, tandis que l'astronome royal (M. Airy) put
« bien observer tous les phénomènes de l'éclipse à la Su-
« perga, qui n'en est pas éloignée de 5 milles en ligne
« droite. En conséquence, nous examinerons les circons-
« tances que présentent les deux régions dont il s'agit.

« La région septentrionale comprend tous les États-Unis
« de l'Amérique du Nord. Les observatoires y sont nom-
« breux, et ils ont un avantage qui est encore peu connu
« en Europe : en raison de l'extension qu'a prise la télé-
« graphie électrique, qui est devenue d'un usage habituel
« aux États-Unis, et de l'esprit public de la nation et des
« compagnies télégraphiques, qui les poussera certaine-
« ment à appliquer cet admirable auxiliaire à l'usage ex-
« clusif de l'astronomie dans une occasion aussi impor-
« tante ; en raison aussi de l'absence de défiances politi-
« ques, toutes les stations consacrées à une pareille obser-
« vation pourront être réunies entre elles par le télégraphe
« électrique. (L'astronome royal mentionne les défiances
« politiques non sans quelque amertume, parce qu'elles
« l'ont empêché de faire usage d'un télégraphe européen,
« pendant une heure seulement, pour déterminer la longi-
« tude d'un point important du continent.) On y trouve-
« rait, en particulier, l'avantage de relier, ou au moins de
« comparer entre elles, les horloges de tous les observa-
« teurs. Supposons qu'on y ait choisi dix stations, et que,
« par le fait de la variabilité du temps, l'entrée seulement
« ait été observée dans cinq d'entre elles et la sortie seu-
« lement dans les cinq autres. Si les horloges des divers
« observatoires n'étaient pas reliées ou comparées entre

« elles, ces observations seraient totalement perdues. Mais « si elles sont en connexion mutuelle, chaque observation « sera rapportée au temps absolu de l'une des horloges, de « celle de Washington, par exemple ; avec la connaissance « des positions géographiques, on pourra calculer une « correction de temps absolu, de manière à déduire de « l'observation du temps absolu de l'entrée dans chaque « station ce qu'aurait été ce temps absolu de l'entrée s'il « eût été observé à Washington, et aussi de l'observation « du temps absolu de la sortie dans chaque station ce « qu'aurait été ce temps absolu de la sortie si l'observation « en avait été faite à Washington ; de sorte que nous au-« rons ainsi cinq observations d'entrée et cinq observations « de sortie, tout comme si elles avaient été faites directe-« ment à Washington à l'aide de l'horloge même de cet « observatoire. On peut dire, par conséquent, que la pro-« babilité d'observations précises et avantageuses de ce « phénomène aux États-Unis surpasse tout ce qui aurait « pu être obtenu précédemment et même ce qu'on pourrait « espérer dans une autre région.

« La région méridionale est formée d'une partie de la « terre antarctique découverte par le lieutenant Wilkes de « la marine des États-Unis d'Amérique, comprise entre la « terre de Sabrine et la baie Repulse, et occupant une « étendue d'environ 400 milles. Le général Sabine pense « que le 6 décembre est une époque un peu hâtive pour « une visite dans cette contrée ; mais elle n'est probable-« ment pas trop hâtive, en raison de ce que la glace ferme « sera aussi bonne pour ces observations que la terre « sèche. On doit donc se mettre dans l'esprit qu'il est

« indispensable d'assurer à la fois les observations de l'en-
« trée et de la sortie dans cette région, sans quoi tous les
« avantages des observations de l'Amérique du Nord se-
« ront inutiles. Pour cela il paraît absolument nécessaire
« d'établir une chaîne de postes d'observation et de fournir
« quelques moyens de comparer les horloges qui y seront
« installées. Nous sommes en possession maintenant de
« deux moyens nouveaux et puissants qui peuvent être
« employés dans ce but. L'un est le télégraphe électrique,
« qu'on pourrait essayer d'y établir temporairement; l'au-
« tre est l'emploi de bateaux à vapeur, par lesquels les ob-
« servateurs seraient répartis dans leurs différents postes,
« et qui seraient constamment employés, pendant quelques
« jours avant et quelques jours après le passage, à parcourir
« dans l'un et l'autre sens la côte voisine des stations avec
« un certain nombre de chronomètres, pour les comparer
« avec les chronomètres établis dans les diverses stations. Il
« serait extrêmement désirable qu'une reconnaissance de la
« contrée fût faite quelques années avant le passage, pour
« s'assurer assez à l'avance de la possibilité d'exécution de
« ces plans ou de quelques autres analogues, sans quoi on
« courrait grand risque de manquer entièrement le but
« proposé.

« 4° Application de la méthode des différences de temps
« absolus au passage de 1882.

« Pour l'entrée, les îles Bourbon, Maurice et Kerguelen
« sont très-favorablement placées pour en avancer le mo-
« ment, et les États-Unis de l'Amérique du Nord pour le
« retarder. Pour la sortie, elle sera beaucoup retardée dans
« la terre de Van-Diémen, dans l'Australie orientale, dans

« la Nouvelle-Zélande et dans la Nouvelle-Calédonie, tan-
« dis qu'elle sera avancée aux États-Unis, aux Antilles et
« sur la côte de l'Amérique du Sud, jusqu'au Rio de la
« Plata. »

Nous n'ajouterons rien à cette intéressante citation, qui donne une idée très-nette des circonstances dans lesquelles les passages de 1874 et 1882 pourront être observés. Nul doute que les divers pays civilisés ne contribuent, par tous leurs efforts, à assurer le succès d'observations si importantes, qui, si elles étaient manquées de nouveau, ne pourraient pas être reprises avant le commencement du XXIe siècle (en l'an 2004).

LETTRE

DE

M. LE MINISTRE DE L'INSTRUCTION PUBLIQUE

A M. LE PRÉSIDENT DE L'ACADÉMIE DES SCIENCES.

(Extrait des *Comptes-rendus hebdomadaires des séances de l'Académie des sciences;* séance du 1er février 1869.)

Monsieur le Président,

Les astronomes se préoccupent du grand événement scientifique qui signalera l'année 1874 : le passage de Vénus sur le disque du Soleil, que nos savants devront aller observer presque aux antipodes, à la Terre de Van-Diémen, et chacun d'eux cherche déjà comment on pourra affranchir ces observations des causes d'erreur qui ont affecté, d'une façon si étrange, celles de 1769.

Le Gouvernement, de son côté, n'oublie pas qu'il est tenu de préparer tous les moyens de rendre moins pénible et plus profitable pour la science le dévouement des savants qui voudront s'exposer aux fatigues d'une si lointaine traversée. L'heureuse issue des dernières expéditions envoyées aux Indes et dans la presqu'île de Malacca pour l'observation de l'éclipse totale du 18 août 1868, l'impor-

tance des résultats obtenus par nos astronomes qui ont vaillamment conquis à la France le premier rang dans cette lutte pacifique, tout nous oblige à de grands efforts, et, par conséquent, aux longues études qui sont nécessaires pour en assurer le succès.

Les difficultés qui se sont rencontrées dans les expéditions de 1769, l'expérience acquise dans les préparatifs précipités de celle de 1868, font, en effet, comprendre qu'il est indispensable de s'occuper, dès maintenant, des dispositions à prendre. D'ailleurs, les Communications récemment faites à l'Académie sur ce sujet concluent toutes à l'emploi de puissants instruments, d'une perfection presque absolue au point de vue optique : je sais que la science française, grâce aux travaux de L. Foucault, est aujourd'hui en état de fournir de tels appareils, mais il faut du temps pour les construire et les éprouver.

Je vous prie donc, Monsieur le Président, de vouloir bien soumettre à l'Académie les questions suivantes, sur lesquelles le Gouvernement a besoin des lumières spéciales de ce Corps savant, pour décider les mesures administratives à prendre en vue des futures expéditions :

1° Quelles sont les stations dans lesquelles devront être envoyés les observateurs, et quel devra être le nombre de ces observateurs ?

2° Quels sont les instruments dont ils devront être munis pour l'observation de Vénus et pour les autres recherches dont ils pourraient être chargés ?

3° N'y a-t-il pas lieu d'utiliser la présence de ces astronomes sous des latitudes éloignées, pour leur demander des observations particulières, soit sur les positions des étoiles

du ciel austral, soit sur l'étude physique des astres de cet hémisphère ?

4° Y a-t-il convenance, suivant la proposition faite par MM. Wolf et André, dans leur Communication à ce sujet, à inviter les astronomes étrangers à conférer avec les nôtres, pour établir, dans les différentes stations, un système uniforme d'observation?

L'expédition astronomique pourrait aussi être utilisée en faveur des autres sciences. L'Empereur désire donner à cette expédition le caractère d'une longue campagne scientifique, pour toutes les questions dont l'étude peut se poursuivre à travers l'Océan et dans l'autre hémisphère.

Veuillez, Monsieur le Président, informer l'Académie de ces intentions du Gouvernement impérial. Votre savante Compagnie peut seule donner aux recherches une direction utile et assurer, par ses instructions, le succès de cette grande entreprise.

M. E. LAUGIER, après la lecture de la lettre de M. le Ministre de l'instruction publique, annonce à l'Académie que le Bureau des longitudes s'est occupé, à diverses reprises, de l'observation du prochain passage de Vénus sur le soleil. Le Bureau a examiné et discuté en dernier lieu quelles sont les stations où il devra envoyer des observateurs, et il a choisi, entre autres points dans lesquels l'entrée et la sortie seront toutes deux visibles : Pékin, Shang-Haï ou Yokohama dans l'hémisphère nord ; les îles Saint-Paul et Amsterdam dans l'hémisphère sud. La différence entre

les durées totales du passage dans ces deux groupes sera de 23 minutes, d'après les calculs de M. Puiseux, membre du Bureau : les observations qui y seraient faites pourraient donc se prêter très-bien à la détermination de la parallaxe du Soleil suivant la méthode de Halley.

Au point de vue des entrées hâtives et tardives , le Bureau des longitudes s'est occupé respectivement des îles Marquises et des îles Saint-Paul et Amsterdam ; et des stations de Suez ou de Mascate et des îles Kerguelen, au point de vue des sorties tardives et hâtives.

Pour comparer entre elles les observations du passage de Vénus, il est nécessaire, selon la méthode que l'on adopte, de connaître exactement les positions relatives des méridiens des diverses stations. Ceux de Yokohama, de Shang-Haï et de Mascate sont au nombre des méridiens fondamentaux dont M. le Ministre de la marine fait déterminer en ce moment les positions, à la demande du Bureau des longitudes, qui s'efforcera de faire comprendre dans ce grand travail les stations qui auront été définitivement adoptées.

RECHERCHES

SUR

LES APPARENCES SINGULIÈRES

QUI ONT SOUVENT ACCOMPAGNÉ

L'OBSERVATION DES CONTACTS

DE MERCURE ET DE VÉNUS AVEC LE BORD DU SOLEIL

PAR

MM. C. WOLF ET C. ANDRÉ

Mémoire présenté à l'Académie des sciences, dans sa séance du 1er mars 1869.

Au siècle dernier, le passage de Vénus sur le Soleil, qui eut lieu le 6 juin 1761, servit aux astronomes de préparation pour une meilleure observation du passage du 3 juin 1769. Il semble, fait remarquer Bailly, que par ces deux passages qui se succèdent à huit années d'intervalle, la nature ait voulu ménager une précieuse ressource à notre inexpérience. Nous avons besoin de nous familiariser avec les phénomènes ; une première observation sert d'essai et de prépa-

ration. Les mêmes hommes qui avaient vu le passage de 1761 virent celui de 1769 et, mieux instruits des difficultés, ils surent mieux diriger leur attention et obtenir de meilleurs résultats. Le passage de Mercure sur le Soleil, qui s'est produit le 4 novembre 1868, a été de même pour nous une précieuse préparation à l'observation, autrement importante, du passage de Vénus sur le Soleil, qui aura lieu le 8 décembre 1874.

La divergence des résultats obtenus, les apparences singulières vues au moment du contact intérieur par plusieurs observateurs, tandis que d'autres constataient un phénomène d'une pureté géométrique, ont appelé l'attention des astronomes sur les conditions d'une bonne observation des passages, en éveillant des craintes très-fondées sur les résultats qui se pourraient déduire de l'observation des contacts de Vénus. Ce passage a été pour nous l'origine d'une série d'expériences dont la description et les conclusions font l'objet du Mémoire que nous avons l'honneur de présenter à l'Académie.

Le fait capital et complétement inattendu qui ressort de la comparaison des résultats obtenus en Europe lors de l'observation du passage de Mercure, le 4 novembre 1868, est la divergence des temps observés des contacts.

Le tableau suivant résume l'ensemble des observations publiées jusqu'à ce jour qui sont venues à notre connaissance. Les temps sont exprimés en temps moyen de Paris et réduits à ce qu'ils seraient pour un observateur placé au centre de la Terre.

Lieux d'observation.	Observateurs.	Contact interne.	Sortie totale.	Ouverture de l'objectif.	Grossissement.	Remarques.
		$21^h 9^m$	$21^h 11^m$			
		s	s	mm		
Paris	C. Wolf	32,0	58,0	204	200	Contact géométrique.
id.	Y. Villarceau	27,1	58,7	185	163	id.
id.	André	25,5	48,5	130	188	Trace de ligament.
id.	Rayet	17,6	45,6	140	222	(*Voir* page 148).
id.	Tremeschini	19,8	73,8	»	80	(*Voir* page 123).
Marseille	Le Verrier	18,2	52,3	60	»	Ligament très-noir.
id.	Stephan	34,3	51,3	400	»	Contact géométrique.
Toulon	Pagel	30,9	»	80	100	»
Dunkerque	Terquem	19,0	»	»	»	»
Madrid	Ventosa	41,6	60,6	270	150	Contact par plusieurs points.
id.	Merino	34,7	43,3	120	100	Contact par un seul point.
San Fernando	Garrido	27,8	60,3	65	95	»
id.	La Flor	25,3	43,3	65	95	»
id.	Ruiz	28,3	50,3	65	95	»
id.	Marquez Lopez	25,8	46,5	65	95	»
Rome	P. Secchi	32,2	53,8	180	200	Contact géométrique.
id.	Lais	25,3	54,3	57	40	»
id.	P. Mancini	30,2	»	162	Observé par projection, image de 22cc.	
Palerme	Cacciatore	41,2	35,7	»	»	»
Bologne	Palagi	51,1	17,7	68	»	»
Vienne (Autriche)	Oppolzer	12,2	54,2	108	»	A travers les nuages (p. 123).
id.	Weiss	36,2	»	135	40	id.
Kahlenberge	Pohl	43,1	61,2	108	»	id.
Bonn	Argelander	26,0	50,5	»	»	»
id.	Th. Wolf	22,0	43,0	»	»	(Héliomètre).
id.	Oppenheim	12,5	27,0	»	»	»
Gœttingue	Klinkerfues	45,9	57,8	»	»	»
id.	Copeland	24,7	51,4	»	»	»
id.	Koldewey	11,3	53,8	»	»	»
id.	Bœrgen	33,2	50,8	»	»	»
Altona	Prof. Peters	32,7	»	(1)	145	»
id.	Dr Peters	26,9	»	(2)	111	»
Christiania	Fearnley	29,8	47,0	189	150	»
id.	Mohn	27,8	40,8	135	id.	»
id.	Geelmuyden	21,1	50,8	108	id.	»
id.	Throndsen	31,8	56,8	81	id.	»
id.	Pihl	33,0	61,0	81	id.	»
Lund (Suède)	Dunér	35,5	»	244	320	Contact géométrique.

(1) Lunette de 4 pieds. (2) Lunette de 6 pieds.

Lieux d'observation.	Observateurs.	Contact interne. $21^h 9^m$	Sortie totale. $21^h 11^m$	Ouverture de l'objectif.	Grossissement.	Remarques.
		s	s	mm		
Helsingfors............	FABRITIUS.........	14,0	28,0	(1)		Contact géométrique.
id.	KRUEGER..........	28,2	56,8	(2)		»
Pulkowa (*)............	ROSÉN...........	24,3	50,3	127	59	»
id.	KARTAZZI.........	26,3	48,3	74	145	»
id.	WAGNER..........	26,3	65,3	94	148	»
id.	NYRÉN...........	»	52,3	188	57	»
id.	FUSS.............	»	67,3	61	63	»
id.	LEBEDEFF.........	30,3	42,3	56	70	»
id.	DOELLEN..........	30,3	50,3	56	81	»
id.	MIROSCHNITSCHENKO.	30,3	51,3	94	106	»
id.	LESKINEN.........	30,3	61,3	99	117	»
id.	KASAVINOFF.......	32,3	56,3	28	36	»
id.	O. STRUVE........	35,3	56,3	64	207	»
id.	SOKOLOV..........	40,3	62,3	71	226	»
id.	LINDEMANN........	46,3	59,3	107	85	»
Kazan................	KOWALCSKI........	48,4	55,5	240?	»	»
Greenwich............	DUNKIN...........	25,4	54,9	95	100	Ligament noir.
id.	CRISWICK.........	32,0	62,0	(3)	170	id.
id.	LYNN.............	19,9	56,5	(4)	170	id.
id.	J. CARPENTER......	33,3	59,3	95	90	id.
id.	H.-J. CARPENTER...	30,3	55,9	(5)	70	»
Édimbourg............	PIAZZI SMITH.......	28,0	»	163	80	Observation douteuse.
Durham...............	PLUMMER.........	32,4	»	165	112	Contact géométrique.
Westmoreland House...	J. BUCKINGHAM.....	37,5	»	228	340	id.
Ray Lodge, Maidenhead.	W. LASSELL.......	56,0	66,8	127	120	Image très-mauvaise.

Les temps notés pour l'époque du contact intérieur varient de douze à cinquante-six secondes. Parmi ces nombres, cinq seulement, obtenus par MM. Le Verrier, Terquem, Rayet, Tremeschini et Lynn, concordent avec celui qu'indiquaient les Tables de Mercure et du Soleil de M. Le Verrier ($21^h 9^m 19^s,2$). Tous les autres sont plus forts, à

(1) Lunette de 30 pouces. (2) Réfracteur à micromètre. (3) Lunette de 46 pouces. (4) Équatorial du nord. (5) Équatorial de l'est.

(*) Les astronomes de Pulkova n'ont vu ni ligament noir ni aucune apparence extraordinaire. (Lettre de O. Struve.)

l'exception de quatre. En les rangeant par ordre de grandeur, on en trouve :

	4	entre	10^s	et	15^s
	5	»	15	et	20
	4	»	20	et	25
	16	»	25	et	30
	19	»	30	et	35
	4	»	35	et	40
	9	au-desus de	40		
Total. . . .	61				

La grandeur des nombres ne présente d'ailleurs aucune liaison évidente ni avec l'ouverture, ni avec le grossissement de la lunette employée. Ainsi les nombres compris entre 30 et 35 ont été obtenus avec des objectifs de 24 centimètres d'ouverture et avec d'autres de 28 millimètres, avec des grossissements de 36 et de 320 fois.

Nous nous trouvons donc aujourd'hui, malgré les progrès des instruments et des méthodes d'observation, en face de divergences aussi considérables que celles qui se sont présentées au siècle dernier dans les observations du passage de Vénus. Quelle est la cause de ces divergences, quels sont, parmi les résultats obtenus, ceux qui s'approchent le plus de l'instant du contact réel ?

On a cherché la cause du désaccord sur l'appréciation du moment du contact dans l'indétermination du bord du Soleil et du bord de la planète. En effet, ces divergences, exprimées en arc, ne correspondent qu'à trois secondes environ, et les mesures du diamètre du Soleil effectuées par les divers observateurs présentent des différences au moins égales, que ce diamètre soit obtenu par la durée du

passage aux fils de la lunette méridienne ou par les mesures micrométriques au cercle mural.

« Les discordances qui existent entre les diamètres du Soleil, conclus des observations de divers astronomes, s'élèvent, dit M. Le Verrier, jusqu'à un quart de seconde de temps. » (*Annales de l'Observatoire,* tome IV des *Mémoires*, page 69.) Elles suffiraient amplement à expliquer les différences relatives aux passages de Mercure et de Vénus.

Mais peut-on admettre qu'une erreur personnelle, analogue à celle qui se manifeste dans les observations de passages, affecte l'estime du temps du contact de Vénus ou de Mercure avec le bord du Soleil? Si les circonstances physiques du phénomène restaient les mêmes pour les divers observateurs, il serait bien difficile de le croire. Les expériences de Bessel ont fait voir que l'erreur personnelle, même considérable, dans les observations de passages, s'annule dans l'estime de l'époque d'un phénomène instantané, comme serait la disparition du filet lumineux au bord de la planète, si le contact avait lieu avec une simplicité géométrique.

Cependant l'observation des moments des contacts intérieurs dans les éclipses totales de Soleil a montré des divergences considérables. M. Le Verrier en Espagne (1860), M. Tisserand dans la dernière éclipse (18 août 1868) ont noté cette circonstance que la disparition et la réapparition du bord du Soleil peuvent donner lieu à des appréciations différant de douze secondes de temps; mais en même temps ils signalent la cause de ces discordances. Au moment du troisième contact, par exemple, les observa-

teurs voient apparaître successivement, d'abord l'atmosphère solaire, région des nuages roses et des protubérances, puis le bord du disque lumineux lui-même. Les appréciations différentes se rapportent donc à deux phénomènes physiques bien distincts.

Est-il possible qu'un observateur note comme moment du contact de Mercure ou de Vénus celui où la planète vient toucher la limite extérieure de l'atmosphère solaire? Il faudrait que la lumière de cette auréole fût visible à travers les verres noirs ou la couche d'argent qui protége l'œil contre les rayons de l'astre lumineux, et c'est ce qui n'est point : autrement on retrouverait des différences de près de deux secondes de temps dans les durées du passage du Soleil aux instruments méridiens, et, dans le dernier passage de Mercure, le désaccord aurait pu s'élever à deux ou trois minutes.

Il est certain cependant que les mesures effectuées du diamètre de Mercure ont donné, le 4 novembre, des valeurs notablement différentes, de 9″,95 (Copeland) à 6″,84 (O. Struve); et, d'après la Note de M. Le Verrier (*Comptes rendus,* t. LXVII, 9 novembre 1868), il semble nécessaire, dans la comparaison des temps observés, entre eux et avec la théorie, de tenir compte de la différence du diamètre apparent pour l'instant du contact avec le diamètre 10″,10 employé dans le calcul des Tables. Ainsi le temps donné par M. Wolf devrait être diminué de cinq secondes, celui de M. Stephan de dix-huit secondes, pour devenir comparable avec le temps calculé. Mais l'examen du tableau des diamètres mesurés et des instants observés montre que

l'introduction d'une pareille correction ne rétablirait nullement l'accord avec la théorie, et n'aurait d'autre effet que de rendre divergents des nombres d'abord assez concordants. Ces nombres sont en effet ceux-ci :

Observateurs.	Temps observé.	Diamètre.	Correction.	Temps corrigé.
Copeland.	$21^h 9^m 24^s 7$	9″946	— $1^s 1$	$21^h 9^m 23^s 6$
Bœrgen.	33,2	9,50	— 4,5	28,7
C. Wolf	32,0	9,43	— 5,0	27,0
Th. Wolf.	22,0	9,227	— 6,5	15,5
Ventosa.	41,6	9,06	— 7,8	33,8
Plummer	32,4	9,001	— 8,3	24,1
Dunér.	35,5	8,81	— 9,7	25,8
Stephan.	34,3	7,8	—17,3	17,0
Buckingham. . . .	37,5	7,63	—18,5	19,0
O. Struve.	35,7	6,84	—24,4	11,3

Quant à l'origine du désaccord dans la mesure du diamètre, elle paraît elle-même fort obscure. Si la très-faible valeur trouvée par M. Struve est imputable à cette circonstance que l'objectif du grand équatorial avait été diaphragmé à 64 millimètres, d'où résulte une augmentation de l'étendue des disques élémentaires, images de chaque point du Soleil, et par suite une diminution de la planète, il est impossible d'attribuer à la même cause les petites valeurs trouvées par M. Buckingham et M. Stephan. Peut-être ne doit-on voir là qu'un effet des manières différentes de pointer les bords d'une image très-ondulante (1).

(1) Il est probable que des mesures faites à l'aide de micromètres à double image donneraient, dans un cas semblable, des résultats plus concordants. A l'héliomètre, M. Wolf, de Bonn, a trouvé 9″23 ; M. Copeland, 9″95 ; l'emploi des prismes biréfringents d'Arago a donné à l'un de nous 9″26 ; et cependant les temps du contact interne sont très-différents pour ces trois observateurs.

On ne peut donc attribuer les divergences observées ni à une différence personnelle d'estime du temps, ni à une position différente assignée au bord réel du Soleil ou de la planète : c'est aux circonstances physiques du phénomène observé qu'il faut en demander l'explication.

M. Le Verrier a décrit, dans sa Note du 9 novembre, l'apparence qui a marqué pour lui l'instant du contact. A ce moment, il s'est tout à coup étendu sur le filet lumineux comme un pont obscur, d'une largeur égale au quart du diamètre de la planète, et dont la noirceur s'étendait jusque sur le fond du ciel au-delà du disque du Soleil.

Les astronomes de Greenwich ont donné (*Monthly Notices,* décembre 1868) des descriptions et des dessins des apparences de la planète au moment du contact. Un seul, M. H.-J. Carpenter, paraît n'avoir rien vu de particulier. Tous les autres, et particulièrement M. Stone, qui porta presque uniquement son attention sur les circonstances physiques du phénomène, ont vu un ligament noir, plus ou moins large, s'établir brusquement entre les bords du Soleil et de la planète, et ont noté ce moment comme celui du contact réel. M. Dunkin a même signalé cette circonstance que la planète est venue toucher le bord du Soleil en prenant la forme d'un ballon ou d'une poire. On peut regretter que tous les observateurs n'aient pas donné une description aussi fidèle de leurs impressions.

M. Oppolzer à Vienne, M. Tremeschini à Paris, ont décrit un phénomène tout différent. Huit secondes avant la rupture du filet lumineux, Mercure semblait comme pous-

ser devant lui le bord du Soleil, de manière à paraître entouré d'un arc lumineux au point où devait se faire la sortie. Les deux observateurs notèrent comme moment du contact l'instant de la disparition de l'arc. « Dix-sept secondes après, dit M. Oppolzer, les deux disques paraissaient encore se toucher complétement. » M. Oppolzer observait sans verre noir à travers les nuages, à l'aide d'une lunette dialytique de Plössl, de quatre pouces d'ouverture; l'image était très-ondulante.

Mais, pour beaucoup d'observateurs, la sortie de Mercure s'est effectuée avec la simplicité d'un contact géométrique. M. Stephan à Marseille, MM. Y. Villarceau et Wolf à Paris, M. Dunér à Lund, le P. Secchi, M. Merino, MM. Plummer et Buckingham, les astronomes de Pulkowa n'ont vu aucune trace de ligament noir; pour eux Mercure a touché le bord du Soleil en amincissant progressivement le filet de lumière qui l'en séparait, sans se déformer, sans altérer le bord de l'astre lumineux. Tout le phénomène s'est produit, écrit M. O. Struve à l'un de nous, pour ainsi dire de la manière la plus naturelle. Il n'est pas douteux que la liste des observateurs qui ont vu les choses se passer de la sorte ne doive être beaucoup augmentée, peut-être même de tous ceux qui n'ont accompagné leur relation d'aucune remarque particulière.

En nous bornant aux temps notés par ceux de ces observateurs qui ont fait usage d'instruments de grande ouverture, supérieure à 160 millimètres ou 6 pouces, montés équatorialement et munis de micromètre, c'est-à-dire dans les meilleures conditions d'observation, nous trouvons le tableau suivant :

MM. Y. Villarceau	$21^h 9^m 27^s,1$	ouv. 185^{mm}
Féarnley	29,8	189
C. Wolf	32,0	204
Le P. Secchi	32,2	180
Plummer	32,4	165
Stephan	34,3	400
Dunér	35,5	244
Buckingham	37,5	228

Il est remarquable que ces nombres appartiennent en presque totalité au groupe le plus nombreux du tableau des observations rangées par ordre de grandeur. Cette circonstance, opposée à la divergence des nombres donnés par les observateurs, en petit nombre, qui ont pris pour signal du contact l'apparition du ligament noir, suffirait à elle seule à décider *a priori* de quel côté se trouve la vérité.

M. Ventosa, qui a noté un temps beaucoup plus fort que les précédents, a vu en même temps une singularité se produire dans le contact : « Le contact se vérifia tout-à-coup, dit-il, par plus d'un point à la fois, comme celui d'une goutte d'eau avec un corps susceptible d'être mouillé. » A côté de lui, M. Meriño apercevait sept secondes plus tôt un contact géométrique.

Il est donc bien clair que le phénomène physique observé n'a pas été le même pour les différents observateurs. Les observations antérieures des passages de Mercure et de Vénus ont présenté des différences de même ordre de grandeur dans l'estime du temps des contacts, et les astronomes ont noté dans leurs relations des phénomènes tout semblables à celui qu'ont vu et décrit M. Le Verrier et les

astronomes de Greenwich. La formation d'une goutte noire entre la planète et le bord du Soleil au moment du premier contact interne, celle d'un ligament obscur avant le deuxième contact intérieur, sont des particularités trop connues pour que nous ayons besoin d'en rappeler ici les détails. Et, dès les premières observations, les astronomes ont été en désaccord sur le phénomène qui doit être pris pour signal de l'un ou l'autre de ces contacts. Ils n'ont pas moins différé quant à l'explication physique de ces singulières apparences.

L'explication généralement admise depuis Lalande est fondée sur l'irradiation. « Le ligament noir qui relie les bords de Vénus et du Soleil aux moments des contacts intérieurs, n'est, dit M. Powalky (Supplément à la *Connaissance des Temps* pour 1867, p. 25), qu'une conséquence de l'irradiation. La forte lumière émise par le Soleil produit sur la rétine l'effet de nous faire voir le disque solaire plus grand qu'il ne l'est en réalité. Le disque solaire paraît entouré d'un anneau d'une intensité égale offrant une largeur plus ou moins considérable suivant la bonté des instruments, mais ne disparaissant pas même dans les meilleurs. » Pour M. Powalky, le moment du *contact réel* des deux disques vrais du Soleil et de la planète est celui de la disparition ou de l'apparition du ligament obscur. Au moment du *contact apparent,* les deux disques sont séparés en réalité par le double de l'irradiation.

M. Stone, dans son Mémoire sur la discussion des passages de Vénus en 1769, attribue également à l'irradiation l'apparition du ligament noir. Pour lui aussi, le moment de la formation de ce ligament marque l'instant où s'opère

le contact réel. En effet, à l'instant où la distance réelle des bords devient nulle, l'effet de l'irradiation s'anéantit brusquement au point de contact, tandis qu'il subsiste pour le reste des contours; la planète présente donc en ce point une protubérance noire, le Soleil une entaille obscure, dont la réunion forme le ligament.

Remarquons en passant que cette théorie de la formation du ligament noir en vertu de l'irradiation n'est pas rigoureusement exacte. En effet, étant donnés les contours de l'objet lumineux réel, c'est-à-dire ici le bord du Soleil et la circonférence de la planète en contact avec ce bord, il faut, pour en obtenir l'image affectée de l'irradiation, décrire, autour de chaque point de ces contours comme centre, un petit cercle de rayon égal à l'irradiation : l'enveloppe extérieure de ces cercles trace les limites de l'image cherchée. On percevra donc de la lumière entre le disque apparent de la planète et le bord apparent du Soleil, jusqu'au moment où la corde commune des disques réels deviendra égale au double du rayon de l'irradiation. C'est à partir de cet instant seulement que le ligament doit apparaître, d'où il suit que, dans l'hypothèse de l'irradiation, l'apparition du ligament noir ne marque pas rigoureusement l'instant du contact réel, mais lui est postérieure. Il faut ajouter cependant que, dans la réalité, ces deux phénomènes ne sont séparés que par un intervalle de temps extrêmement court. En effet, le bord du Soleil pouvant être considéré comme rectiligne dans la portion envahie par le disque de la planète, si l'on désigne par r le rayon du cercle d'irradiation et par R celui de la planète,

la longueur de la flèche correspondant à une longueur $2r$ de la corde commune a pour expression

$$f = R - \sqrt{R^2 - r^2}.$$

Or dans l'observation du passage de Mercure du 4 novembre 1868, M. Stone et M. Dunkin ont remarqué que l'apparition du ligament noir a précédé d'environ quinze secondes le moment du contact apparent des disques. Dans l'hypothèse admise, l'arc correspondant à cet intervalle de temps, soit une seconde, représente donc le double du rayon du cercle d'irradiation ; R est d'ailleurs égal à cinq secondes environ, d'où l'on déduirait $f = 0'',03$, quantité inappréciable.

Mais l'irradiation existe-t-elle réellement? Déjà Bessel et Arago ont fait voir que, dans les bonnes lunettes, le diamètre apparent d'un disque est égal à son diamètre réel. Nous nous sommes assurés de ce fait par une expérience très-simple. Dans la couche de tain d'une glace mince à faces parallèles, on enlève un disque circulaire, qu'on observe ensuite de loin avec une lunette. Si l'on éclaire l'ouverture par derrière avec une forte lampe, on voit un cercle brillant sur fond obscur, et l'on peut amener un fil en contact avec le bord de l'image focale. Que l'on place la lampe en avant, l'ouverture apparaît en noir sur la surface éclairée du miroir; et si l'irradiation avait l'effet prétendu, le fil devrait être séparé du bord par une distance égale au double de l'irradiation. Quelle que soit l'intensité de la lumière, le fil et le bord restent en contact parfait.

La preuve la plus démonstrative de la non-existence de

l'irradiation dans les instruments réflecteurs ou réfracteurs parfaits nous paraît se déduire des recherches de M. L. Foucault sur le pouvoir optique. Ces expériences consistaient à diriger l'instrument vers une mire lointaine, composée de traits équidistants, dont la largeur est égale à l'intervalle qui les sépare. Une même lame d'ivoire porte des groupes de divisions où le millimètre est fractionné en parties de plus en plus petites. Les conditions de cette observation sont éminemment propres à manifester l'influence de l'irradiation, si elle existe. Dans cette hypothèse, la résolubilité d'un groupe déterminé par un objectif donné dépendra de l'éclairement de la mire, du grossissement de l'oculaire et de l'état de l'œil, et, quant à l'ouverture de l'objectif, elle n'aura d'autre effet que celui qui dépend de la quantité de lumière admise. Or M. Foucault a reconnu et nous avons vérifié, par des expériences relatées plus loin (*voir* la Note I à la fin du Mémoire), que la résolubilité d'un groupe déterminé est indépendante de l'éclairement de la mire et du grossissement employé, qu'elle est la même pour différents observateurs et dépend uniquement de l'ouverture de l'objectif, à laquelle le pouvoir de résolution est proportionnel. L'irradiation n'est donc pas la cause de la non-résolubilité de certains groupes par un objectif donné. Bien plus, comme les valeurs calculées du pouvoir optique, déduites de la théorie ondulatoire et de la valeur moyenne de la longueur d'onde, sont en accord parfait avec les résultats de l'expérience, on en conclut que l'irradiation n'intervient en rien dans les phénomènes.

Ainsi l'irradiation physiologique n'existe pas pour l'œil

armé d'une bonne lunette. Que dans les instruments imparfaits les aberrations, le défaut de mise au point produisent des effets analogues à ceux qu'on attribue à l'irradiation, c'est un fait d'expérience dont nous aurons bientôt à tenir compte ; mais, même dans ce cas, il est au moins inutile de désigner par le nom d'un phénomène purement subjectif un ensemble de phénomènes réels qui se rattachent à des causes connues.

L'importance de ce point de théorie ne peut échapper à personne. Admettre que l'irradiation oculaire intervient dans la perception des phénomènes astronomiques, c'est dire que les déterminations se trouvent compliquées d'une nouvelle erreur personnelle, variable d'un observateur à l'autre, variable d'un moment à l'autre pour le même observateur. Telle est, en effet, la conclusion de M. Faye (*Comptes rendus,* Tome LXVIII, page 43); mais il nous permettra de lui faire remarquer que, des deux faits sur lesquels il s'appuie, l'un au moins n'est pas démonstratif. Chappe d'Auteroche a bien vu Vénus, au deuxième contact intérieur, s'allonger plus considérablement qu'au premier ; mais il observait le matin avec une lunette de trois pieds, le soir avec une lunette de six pieds (1). On ne peut en conclure que le mode de perception du contact varie avec l'heure du jour. Nos expériences montreront que, dans les mêmes conditions, les observateurs notent les phénomènes de la même manière ; que l'intensité de la lumière est sans influence sur les apparences au moment du contact. Nous croyons donc être en

(1) Chappe d'Auteroche, *Voyage en Californie*, *Observations astronomiques*, pages 94 et suivantes.

droit de dire que l'irradiation oculaire n'intervient en rien dans l'observation des passages de Mercure et de Vénus (1).

La cause des phénomènes singuliers observés au moment des contacts doit donc, ce nous semble, être cherchée ailleurs. Les expériences que nous allons décrire nous ont fait voir que, dans les passages artificiels d'un disque noir sur un cercle lumineux, l'erreur d'observation du contact réel des bords peut être réduite à une fraction de seconde d'arc presque inappréciable. Sans doute, en vertu même des propriétés de l'agent lumineux, le diamètre d'un cercle brillant vu dans une lunette est augmenté de la demi-largeur des disques élémentaires qui représentent l'image d'un point; celui d'un cercle noir sur fond brillant est diminué de la même quantité; mais la théorie des images au foyer d'un objectif aplanétique montre qu'il n'en résulte aucun effet appréciable pouvant altérer le moment du contact des deux disques.

Ces mêmes expériences démontrent que l'apparition du pont ou ligament obscur est un accident étranger au phénomène lui-même, dont la manifestation dépend des qualités de l'instrument employé à l'observation, et que, par conséquent, l'instant de cette apparition n'est pas en général celui du contact réel du bord de la planète avec le bord du Soleil.

---

(1) Nous avons pu, depuis la présentation de ce travail à l'Académie, reproduire *par projection* toutes les particularités du ligament noir : c'est la preuve la plus directe que l'œil n'intervient en rien dans la production du phénomène.

Les expériences de passages artificiels ont été faites dans deux conditions différentes, les unes à grande distance, les lunettes agissant par conséquent dans les circonstances normales, les autres dans une chambre obscure à l'aide d'un collimateur.

Dans le premier cas, la mire représentant le Soleil et la planète était installée dans la bibliothèque du Sénat, au Luxembourg (1), et les instruments d'observation à la fenêtre nord de la salle de la méridienne à l'Observatoire. La distance des deux stations, déduite des mesures prises par Arago, est de 1,300 mètres. A cette distance, l'arc d'une seconde a pour longueur $6^{mm},30$.

Sur le chariot d'une machine à diviser donnant le $\frac{1}{200}$ de millimètre est fixé un disque métallique vertical, qui, par le mouvement de la vis, peut être rapproché jusqu'au contact du bord rectiligne vertical d'un écran, également en métal noirci, fixé par l'intermédiaire d'un corps isolant au bâti de la machine. Derrière ce système, qui représente la planète et le fond du ciel sur lequel se projette le Soleil, est placé un réflecteur parabolique de $0^{m},45$ d'ouverture, éclairé par une lampe à modérateur. L'expérience nous a montré l'utilité de placer devant ce réflecteur et en arrière des écrans un châssis sur lequel est tendu un papier translucide : le champ éclairé en devient plus uniforme, et son éclat est encore très-vif. Vu de loin dans une lunette, cet ensemble figure une partie du Soleil limitée par le bord de

---

(1) M. le grand référendaire avait bien voulu autoriser cette installation, pour laquelle M. Constant Dufeux, architecte du Sénat, M. Roussel, chef du cabinet, et M. Étienne, bibliothécaire, nous ont prêté le concours le plus empressé.

l'écran rectiligne, sur laquelle passe la planète en se rapprochant de ce bord jusqu'au contact.

L'observation de ce contact se faisait de la manière suivante : M. André se trouvait au Luxembourg, assisté de M. Tisserand; M. Wolf observait aux lunettes, aidé de M. Rayet. Tous les préparatifs terminés, M. André faisait mouvoir lentement le disque vers le bord obscur rectiligne, avec une vitesse d'environ 1 millimètre par cinq secondes, jusqu'à ce qu'un signal, donné par l'occultation d'une lampe, lui indiquât que le contact avait lieu pour l'observateur à la lunette. Il lisait alors l'indication de la tête de vis de la machine à diviser, puis il continuait à tourner dans le même sens jusqu'au contact réel des deux écrans métalliques : ce contact était signalé par la fermeture du courant d'une pile, dont l'un des pôles se reliait au disque circulaire, et l'autre à l'écran rectiligne avec interposition d'un galvanomètre dans le circuit. L'excès de la lecture correspondant à ce contact réel sur la première donnait, en $\frac{1}{2}$ centièmes de millimètre, l'erreur commise par l'observateur à la lunette dans l'appréciation du contact.

Ces expériences à grande distance étaient très-propres à donner la valeur absolue de cette erreur d'appréciation, mais la difficulté des correspondances, qui ne pouvaient avoir lieu que par signaux de feu, ne permettait pas de varier à volonté les conditions des essais, de manière à étudier les particularités optiques du phénomène : aussi avons-nous institué dans ce but des expériences de cabinet, avec une mire de petites dimensions, placée au foyer d'un collimateur. Par ce procédé, l'influence des qualités de la lunette employée à l'observation se complique, il est vrai,

de celle des qualités propres du collimateur, et l'on ne peut directement obtenir la valeur absolue de l'erreur d'appréciation du contact. Les quantités à mesurer deviennent aussi beaucoup plus petites, puisque, pour la distance focale $3^{m},60$ du collimateur ordinairement employé, l'arc d'une seconde est représenté par $0^{mm},017$; mais la comparaison des résultats à ceux que donne la première méthode permet de ramener les phénomènes à leur simplicité normale.

La planète était représentée par un très-petit disque métallique, fixé sur la surface d'une lame de glace bien travaillée, comme le sont les disques des appareils de diffraction. Cette lame de verre était portée par le chariot d'un micromètre mû par une vis à tête divisée, et l'écran à bord rectiligne était fixé sur le châssis immobile du micromètre, dans le plan du disque lui-même. On éclairait vivement le système à l'aide d'une lampe placée assez près pour que ses rayons, en divergeant de chaque point, vinssent couvrir la surface entière du collimateur, condition essentielle pour que l'on fût assuré de mettre à profit l'ouverture entière de celui-ci.

La position du disque mobile et la lecture de la tête de vis, pour lesquelles avait lieu le contact réel entre le disque et le bord de l'écran fixe, étaient déterminées dans chaque expérience en faisant mouvoir le disque au foyer d'un microscope horizontal grossissant environ soixante fois. Les observations ont toujours été contrôlées par chacun de nous et les résultats trouvés concordants.

Nos expériences ont été faites avec plusieurs objectifs

ou miroirs de qualités très-différentes. Le premier, qui, dans le second mode d'expérience, nous a généralement servi de collimateur, est un objectif de 240 millimètres d'ouverture et $3^{m},60$ de distance focale, construit et retouché par M. L. Foucault. Essayé sur le ciel, il donne des images d'une beauté presque parfaite. Le faisceau provenant d'une étoile se condense au foyer en un disque bien net, entouré d'anneaux dont l'intensité décroît rapidement; l'auréole d'aberration (1) est très-faible, bien qu'elle n'ait pas complétement disparu, M. Foucault n'ayant pu mettre à son œuvre la dernière main.

Nous avons eu aussi deux objectifs de Merz et Mahler, l'un de 257 millimètres d'ouverture et 3 mètres de distance focale, l'autre de 290 millimètres d'ouverture et $4^{m},90$ de foyer. Le premier, qui a figuré à l'exposition de 1867, appartient à l'Observatoire de Marseille; le second, destiné à l'Observatoire de Lima, nous a été très-obligeamment prêté par M. Eichens. Comme tous les objectifs que nous connaissons du célèbre artiste de Munich, ces deux verres sont remarquables par l'achromatisme et la forme circulaire de l'image d'une étoile; mais ils présentent une zone très-prononcée d'aberration, le premier surtout, en raison sans doute de la brièveté de sa distance focale. Dans ces trois objectifs, l'aberration est positive. De plus, l'étude du faisceau réfracté permet de reconnaître que l'effet de l'objectif de 257 millimètres sur un faisceau de rayons incidents parallèles à l'axe équivaut à celui que produirait une

(1) L'aberration dont il est question dans tout le cours de ce travail est celle à laquelle on donne le nom d'*aberration de sphéricité*.

surface réfringente unique, composée de zones concentriques, dont le rayon de courbure irait en croissant du centre vers les bords; car la section droite de ce faisceau, en deçà et au delà du foyer, se divise en plages annulaires simulant des anneaux de diffraction.

Enfin nous avons opéré encore avec le télescope à miroir argenté de 200 millimètres d'ouverture de M. L. Foucault. Cet instrument, bien réglé, est entièrement dépouillé d'aberration. D'autres objectifs plus petits seront décrits plus tard, en même temps que les expériences spéciales auxquelles ils ont servi.

Avant d'aborder la description des phénomènes observés, nous devons insister d'une manière particulière sur une précaution dont l'utilité sera démontrée plus loin : nous voulons parler de la mise au point de l'oculaire. Cette opération, assez délicate déjà quand l'objectif est parfait, devient très-difficile quand intervient l'influence de l'aberration. Un objet à contours très-nets, comme étaient les disques et les écrans, ne peut servir à reconnaître la position à donner à l'oculaire ; il est indispensable d'avoir dans le champ de la lunette un très-petit objet de figure irrégulière, comme une dentelure, un petit copeau métallique sur le bord d'une ouverture circulaire. C'est en cherchant à obtenir l'image la plus nette possible de cette dentelure, sans se préoccuper de la lumière diffusée par l'aberration sur les bords des objets plus étendus, qu'on arrive à la position vraie de l'oculaire. Ce procédé, qu'employait toujours M. Foucault dans ses expériences sur les miroirs et les objectifs, nous a seul permis, comme on va le voir, de distinguer les circonstances d'une bonne observation et les

conditions d'apparition des phénomènes étranges dont nous cherchions l'origine.

La mise au point étant ainsi réglée, lorsque, par une soirée favorable, le ciel étant couvert, la terre humide et l'air calme, nous observons la mire du Luxembourg avec un instrument aussi parfait que possible, voici les apparences très-simples qui se présentent, pendant que le disque noir parcourt la surface éclairée en se rapprochant peu à peu de son bord.

L'écran rectiligne et le disque de la planète, dont les contours sont nettement tranchés, offrent à l'intérieur de l'ombre la succession régulière et très-rapidement décroissante des franges et anneaux de diffraction, qui caractérisent l'image parfaite au foyer d'un objectif aplanétique (*Pl. I*, *fig.* 1). Jusqu'à l'instant du contact réel, ces apparences ne se modifient en rien, à cela près que le filet de lumière qui sépare le disque du bord de l'écran s'obscurcit un peu, ainsi que les franges brillantes à droite et à gauche de ce filet (1). Au moment du contact, celles-ci *disparaissent* tout à coup sur la planète et sur l'écran, de telle sorte que les bords en contact semblent réunis par un ligament noir extrêmement étroit (*fig.* 2).

Si l'objectif est affecté de cette aberration qui diffuse irrégulièrement la lumière en dehors de l'image focale théorique, comme cela a lieu pour l'objectif de Merz dont nous avons fait usage, les phénomènes se présentent un

(1) Cet obscurcissement est d'autant plus faible que l'objectif est plus parfait, et théoriquement n'aurait pas lieu avec un objectif aplanétique.

peu autrement. Les bords du disque et de l'écran sont lavés par une lumière plus ou moins intense, dans laquelle se noient plus ou moins complétement les franges noires (*fig.* 3); de là la difficulté de la mise au point de l'oculaire, et cette difficulté n'est bien nettement levée, pour un observateur qui n'a point l'habitude et la connaissance complète de son objectif, que par l'emploi du procédé que nous avons indiqué.

De cette diffusion de la lumière il résulte que le filet lumineux s'obscurcit bien plus rapidement que dans le premier cas, et en même temps les bords du disque et de l'écran perdent dans les parties les plus voisines cette illumination qui persiste dans les parties plus éloignées. Les franges noires se détachent donc plus vives et plus larges, et il devient plus difficile de saisir le moment de la disparition du filet lumineux ou du contact réel. A cet instant toute la lumière a disparu entre les bords obscurs et sur les bords eux-mêmes (*fig.* 4) : il semble donc que la planète et le fond du ciel sont réunis par une bande sombre qui s'étend de part et d'autre du point de contact, à une distance d'autant plus grande que l'aberration est plus prononcée.

Dans de pareilles conditions, l'observateur peut donc noter un peu trop tôt l'instant du contact réel, et une sorte de pont envahit les parties qui se touchent. L'erreur est d'autant plus considérable que l'aberration est plus forte et répand la lumière du filet sur un plus grand espace.

De cette description des phénomènes il suit que le moment du contact pourra s'apprécier avec une exactitude absolue si l'objectif employé est rigoureusement aplanétique; mais que l'observateur pourra hésiter sur le moment du

contact, ou le noter trop tôt, si l'objectif est affecté d'aberration. C'est, en effet, ce qui résulte des expériences faites sur les grands instruments que nous avons décrits plus haut. Voici les résultats de ces expériences. Nous désignerons par O l'ouverture de la lunette, G le grossissement, D la distance qui sépare le disque de l'écran au moment où l'observateur à la lunette signale le contact. Cette distance est exprimée soit en millimètres, soit en parties du micromètre; D′ représente sa valeur en secondes d'arc, D″ sa valeur en secondes de temps, à raison de quinze secondes de temps par seconde d'arc, ce qui est à fort peu près la vitesse de Mercure sur le Soleil dans le dernier passage.

Expériences entre le Luxembourg et l'Observatoire.

19 décembre 1868. — Disque de $0^m,20$ de diamètre = 32″. — Images très-nettes et très-calmes.

Télescope de $0^m,20$ de L. Foucault.

O (m)	G	D (mm)	D′ (″)	D″ (s)
O = 0,200	G = 222	D = 0,056	D′ = 0,009	D″ = 0,13
0,150	222	0,111	0,018	0,27
0,100	222	0,293	0,047	0,70

Dans ces expériences, il est arrivé plusieurs fois que le signal n'a été perçu, par l'observateur qui faisait mouvoir le disque, qu'après que le contact réel avait eu lieu. On n'a pu compter dans ce cas qu'une erreur égale à zéro, de sorte que la moyenne obtenue est nécessairement plus forte qu'elle n'aurait été si l'on avait pu noter les positions postérieures au contact réel. Avec l'ouverture $0^m,200$, cette circonstance s'est produite quatre fois sur dix.

Objectif de Merz de $0^{\mathrm{m}},257$.

O $= 0^{\mathrm{m}},257$	G = 164	D $= 0^{\mathrm{mm}},377$	D′ $= 0'',060$	D″ $= 0^{\mathrm{s}},90$
0,200	164	0,346	0,055	0,82
0,150	164	0,375	0,060	0,90
0,100	164	0,444	0,070	1,05

Lunette de l'empereur.

O $= 0^{\mathrm{m}},095$	G = 90	D $= 0^{\mathrm{mm}},486$	D′ $= 0'',077$	D″ $= 1^{\mathrm{s}},15$
0,095	112	0,647	0,103	1,55

On donne le signal du contact au moment où le filet commence à s'assombrir.

O $= 0^{\mathrm{m}},095$	G = 90	D $= 1^{\mathrm{mm}},341$	D′ $= 0'',213$	D″ $= 3^{\mathrm{s}},20$

2 janvier 1869. — Disque de $0^{\mathrm{m}},05$ de diamètre = 8″. — Images ondulantes,

Objectif de Merz de $0^{\mathrm{m}},257$.

O $= 0^{\mathrm{m}},257$	G = 328	D $= 0^{\mathrm{mm}},342$	D′ $= 0'',054$	D″ $= 0^{\mathrm{s}},81$
0,200	328	0,393	0,062	0,94
0,150	328	0,412	0,065	0,98
0,100	328	0,538	0,085	1,28
0,257	164	0,434	0,069	1,03 (1).

Expériences faites dans la chambre noire.

Objectif de L. Foucault. — Collimateur : *Objectif de Merz de* $0^{\mathrm{m}},290$ *de diamètre.*

O $= 0^{\mathrm{m}},240$	G = 197	D $= 2^{\mathrm{p}},20$	D′ $= 0'',162$	D″ $= 2^{\mathrm{s}},43$
0,200	197	1,92	0,141	2,12
0,150	197	2,16	0,159	2,39

(1) Image très-ondulante.

On donne le signal du contact au moment où le filet commence à s'assombrir.

$O = 0^{m},240$	$G = 197$	$D = 4^{p},60$	$D' = 0'',338$	$D'' = 5^{s},07$
0,200	197	5,02	0,369	5,54
0,150	197	5,88	0,432	6,48

Objectif de Merz de $0^{m},257$. — Collimateur : *Objectif de L. Foucault.*

$O = 0^{m},240$	$G = 164$	$D = 1^{p},78$	$D' = 0'',178$	$D'' = 2^{s},67$
0,200	164	1,42	0,142	2,13
0,150	164	1,11	0,111	1,67
0,100	164	1,40	0,140	2,10

Avec l'ouverture entière, les bords de l'écran et du disque sont fortement illuminés; la vivacité de la lumière fatigue beaucoup l'œil.

L'image devient beaucoup plus belle par la réduction de l'ouverture à $0^{m},150$; l'aberration est insensible. A $0^{m},100$, l'image est très-bonne, mais les anneaux sont fort larges, et le filet lumineux s'assombrit beaucoup avant le contact.

On note la position pour laquelle cet obscurcissement commence :

$$O = 0^{m},100 \qquad G = 164 \qquad D = 3^{p},54 \qquad D' = 0'',354 \qquad D'' = 5^{s},31$$

On diminue encore l'ouverture : il devient impossible de noter autre chose que le moment où le filet lumineux devient très-sombre, de manière à former une apparence de pont.

$$O = 0^{m},050 \qquad G = 164 \qquad D = 3^{p},37 \qquad D' = 0'',337 \qquad D'' = 5^{s},06$$

On change la mise au point de l'oculaire, l'image reste bonne en apparence.

$$O = 0^{m},050 \qquad G = 164 \qquad D = 4^{p},52 \qquad D' = 0'',452 \qquad D'' = 6^{s},78$$

Pour augmenter l'aberration des deux objectifs, on rapproche le collimateur de la mire d'environ $0^{m},10$, on remet très-exactement l'oculaire au point.

$O = 0^{m},150 \quad G = 164 \quad D = 3^{p},60 \quad D' = 0'',360 \quad D'' = 5^{s},40$

On rapproche encore le collimateur de la mire et l'on remet exactement au point.

$O = 0^{m},150 \quad G = 164 \quad D = 5^{p},89 \quad D' = 0'',589 \quad D'' = 8^{s},84$

Dans ces deux dernières expériences, on a noté le moment où l'intervalle des deux écrans devenait très-sombre, de manière à former une apparence de pont.

Télescope de $0^{m},20$. — Collimateur : *Objectif de L. Foucault.*

Le 23 novembre, on a observé la mire mobile à l'aide du télescope laissé exactement dans l'état où l'avait employé M. Rayet pour l'observation de Mercure. L'aberration d'obliquité est très-forte.

Avec ces conditions, l'intervalle du disque à l'écran devient presque complétement obscur quand la distance des bords est $10^{p},0 = 1$ seconde, ce qui répond à quinze secondes de temps.

On a alors réglé le miroir et l'oculaire de manière à obtenir une image aussi parfaite que possible.

$O = 0^{m},200$	$G = 222$	$D = 1^{p},17$	$D' = 0'',117$	$D'' = 1^{s},76$
0,140	222	2,02	0,202	3,03
0,100	222	2,40	0,240	3,60

Les expériences faites sur la mire placée au Luxembourg peuvent seules, avons-nous dit, donner la valeur absolue de l'erreur correspondant à un objectif déterminé.

Celles où l'on a employé un collimateur exigent une

petite correction provenant de différentes causes ; le collimateur, qui n'est point parfait, ajoute son action à celle des défauts de l'objectif; la distance à mesurer est beaucoup plus petite que dans le premier cas, et enfin la position du contact absolu est déterminée avec une précision moindre. La comparaison des deux ordres d'expériences donne, pour valeur approchée de la correction, $-0'',1$ ou $-1^s,5$.

De l'ensemble des résultats on peut déduire les conclusions suivantes :

1° Un instrument bien dépouillé d'aberration, et de 20 centimètres d'ouverture au moins, permet, par un temps calme, d'apprécier le contact sans erreur ou avec une erreur insignifiante.

2° L'erreur commise augmente rapidement quand l'ouverture diminue.

3° L'influence de l'aberration se fait sentir par l'assombrissement du filet lumineux qui sépare le disque de l'écran rectiligne. L'erreur qui en résulte est d'autant plus grande que l'aberration est plus forte.

4° Cette influence peut contre-balancer et annuler l'effet de l'ouverture : ainsi les objectifs de Merz donnent une erreur moindre quand on réduit leur diamètre à $0^m,20$, et même à $0^m,15$, que lorsqu'ils sont entièrement découverts.

5° Le grossissement de l'oculaire ne paraît avoir qu'une influence bien secondaire. Avec les petites ouvertures, l'augmentation du grossissement est plutôt nuisible qu'utile.

6° L'erreur paraît être indépendante du diamètre du

disque de la planète. Cependant quelques essais faits sur des disques de carton fixés à la même distance d'un écran rectiligne, et vus simultanément dans le champ de la lunette, nous font croire que l'œil perçoit plus aisément le filet lumineux séparateur quand le disque est de grand rayon que lorsqu'il est petit.

7° L'aberration d'obliquité, due à ce que les faisceaux incidents s'éloignent de la direction de l'axe optique de l'objectif ou du miroir, peut troubler les images au point d'introduire dans l'estime du contact une erreur d'une seconde d'arc. Il est donc indispensable, dans toutes ces expériences, d'amener les images du disque et de l'écran à se toucher exactement au milieu du champ.

Bien que l'augmentation de l'erreur résultant de la diminution de l'ouverture ressorte avec évidence de nos résultats, nous ne sommes pas cependant en mesure d'énoncer la loi de cette augmentation. Il eût fallu, pour la déterminer, disposer d'un instrument aplanétique de très-grande ouverture, tel que le télescope de $0^m,80$ de l'Observatoire de Marseille (1).

Mais quelques considérations peuvent nous guider dans la recherche *à priori* de cette loi. Et d'abord nous ne pouvons pas nous attendre à trouver pour les diverses ouvertures la loi des pouvoirs optiques énoncés par M. Foucault.

Malgré une certaine analogie qui séduit au premier

(1) Le télescope de $0^m,40$ de M. L. Foucault n'était pas encore revenu de Cochinchine à l'époque de ces expériences.

abord, le cas dont nous nous occupons diffère entièrement de celui dans lequel s'est placé cet illustre physicien pour mesurer les pouvoirs optiques. Il vise avec l'instrument une mire formée de traits noirs et blancs équidistants : l'angle sous-tendu par la somme d'un noir et d'un blanc, au moment où l'image va devenir uniformément grise, mesure la puissance de distinction de l'objectif. Cette teinte grise dans laquelle se noient les divisions de la mire résulte ici de la superposition à chaque trait des franges noires et blanches produites par les traits voisins. Dans notre expérience, il n'existe qu'une seule ouverture étroite entre deux écrans indéfinis ou très-larges. Le système des franges est donc unique, et la frange centrale brillante ne peut disparaître tant qu'elle présente assez de lumière pour être perçue. La visibilité du filet lumineux dépend donc de l'ouverture de l'objectif, en tant que celui-ci donne d'autant plus de lumière qu'il est plus étendu.

Mais il faut tenir compte en outre de cette circonstance, que l'œil reçoit en même temps la lumière très-vive du disque du Soleil, et la sensibilité de l'organe s'en trouve nécessairement émoussée (1). La loi géométrique de la proportionnalité au carré du diamètre, qui résulterait des considérations précédentes, se complique donc d'une influence physiologique difficile à estimer.

(1) Cet éblouissement, qui empêche de voir un objet faiblement lumineux trop voisin d'un autre fortement éclairé, et dont on a cherché la cause dans des actions analogues à l'irradiation (Arago, *Astr. pop.*, t. I[er], p. 145), ne proviendrait-il pas simplement de la mobilité continuelle de l'œil, qui ferait tomber l'image de l'objet le plus faible en des points de la rétine ébranlés un instant auparavant par la vive lumière de l'autre objet?

Dans nos expériences préliminaires, nous avons cherché à annuler l'influence de cet éblouissement en limitant l'image visible aux parties voisines de celles qui doivent venir se toucher, par un diaphragme placé dans le plan focal de la lunette. Cette disposition ne nous a donné aucun bon résultat : il semble que l'œil juge mieux du contact lorsque les bords des deux disques sont visibles sur une certaine étendue de part et d'autre du point de tangence.

Quant à l'influence du grossissement, des raisonnements analogues conduisent à penser qu'elle doit être très-faible, comme le prouve l'expérience. Si l'augmentation du grossissement par l'oculaire est nécessaire pour découvrir et distinguer dans le ciel des points brillants sur un fond éclairé, comme lorsqu'il s'agit de résoudre une nébuleuse, d'apercevoir les satellites d'Uranus, ici le grossissement, dilatant à la fois le filet lumineux, le disque du Soleil et les parties relativement sombres, mais éclairées par la lumière atmosphérique, n'altère pas le rapport des éclairements, et par conséquent ne change pas les conditions de visibilité.

Ces considérations sur l'influence du grossissement et du diamètre de l'objectif trouvent leur confirmation dans des essais que nous avons tentés en faisant varier l'intensité de la source de lumière. L'éclat de la flamme de la lampe étant parfois blessant pour l'œil, nous l'avons modéré en interposant entre la flamme et la mire un verre dépoli ; d'autres fois nous avons substitué à la lampe la lumière extrêmement vive de Drummond, et observé alors tantôt avec un verre noir, tantôt avec l'œil nu ou armé d'un verre faible-

ment teinté. Dans tous les cas, le contact s'établit de la même manière et avec la même erreur.

Ces expériences viennent encore ajouter une nouvelle preuve à ce que nous avons dit déjà contre la prétendue influence de l'irradiation ; car, l'irradiation augmentant avec l'éclat des objets, nous aurions dû arriver à ce résultat singulier que le filet lumineux disparût d'autant plus vite qu'il était plus vivement éclairé.

L'erreur la plus grande que nous ayons constatée dans ces expériences atteint après correction $7^s,3$, et dans un cas particulier $13^s,5$. Laissant de côté cette dernière valeur, nous pourrons dire que l'aberration seule de l'objectif, lorsque la mise au point de l'oculaire est exacte, est impuissante à expliquer les divergences extrêmes qui se sont manifestées dans les observations des passages de Mercure et de Vénus. Cependant la comparaison de nos résultats à quelques-unes des descriptions de passages réels n'est pas sans intérêt.

Nous avons dit que, dans le cas d'une assez grande ouverture et d'un objectif doué d'aberration, il se produit, un peu avant le contact, et surtout au moment même du contact, une bande noire sur la planète et sur l'écran rectiligne, par suite de l'affaiblissement, puis de l'extinction de la lumière diffusée par l'aberration. L'apparition d'un *pont* ne sera donc pas dans tous les cas la preuve que l'observation est entachée d'erreur. Telle nous paraît être l'explication du ligament vu par M. Stone à l'aide du grand équatorial de Greenwich, et à l'appui de notre opinion nous citerons ces mots de M. Stone : « La partie centrale

du disque de Mercure était certainement plus noire que les bords. » Il suit en effet de là que l'objectif de cet équatorial est doué d'une certaine quantité d'aberration et que l'oculaire était bien au point. M. Stone a donc dû voir quelque chose d'analogue à ce que nous ont montré les objectifs de Merz. MM. Criswick et J. Carpenter ont noté l'apparition d'un ligament noir, et, cependant, ont trouvé, pour le deuxième contact intérieur, le même temps que les observateurs qui ont vu le contact se produire dans toute sa simplicité normale.

Mais on voit en même temps que, *a priori*, rien ne peut légitimer l'adoption d'un nombre obtenu dans de telles circonstances ; il y a, au contraire, toute probabilité qu'il est trop faible de quelques secondes de temps.

Nous avons trouvé aussi dans nos expériences l'explication du résultat obtenu à Paris par M. Rayet. Cet observateur devait, d'après le programme que nous nous étions tracé, s'occuper de photographier les différentes phases du phénomène ; ce n'est qu'au dernier moment et lorsque l'état nuageux du ciel lui eut ôté tout espoir de remplir sa tâche, qu'il a transformé son appareil en un instrument d'observation directe, sans avoir le temps de le régler, sans le mettre au point autrement que sur le Soleil. Or il est arrivé que l'oculaire s'est trouvé légèrement incliné sur la direction des faisceaux, d'où il est résulté dans l'image une assez forte aberration d'obliquité. On sait, en effet, que les miroirs paraboliques, surtout en raison de leur courte distance focale, ne donnent d'excellentes images que dans la direction même de leur axe. Aussi, dans les conditions mêmes où l'avait employé M. Rayet, ce télescope nous a

donné une erreur de quinze secondes de temps, à fort peu près ce qu'il faudrait ajouter au nombre de M. Rayet pour le ramener à la moyenne des résultats obtenus dans les conditions d'un contact normal.

Mais, à part ce résultat exceptionnel, nous n'avons pas encore rencontré l'explication des nombres discordants qui se sont présentés dans les observations du passage de Mercure. Nous savons qu'ils sont liés à l'apparition d'un pont obscur, d'un ligament noir très-prononcé. Dans quelles circonstances se produisent ces singulières apparences, c'est ce qu'il nous reste à examiner.

Nous avons supposé, dans toutes les observations précédentes, la mise au point parfaite, c'est-à-dire faite sur l'image focale véritable, par le procédé que nous avons indiqué; mais lorsqu'un observateur se préparant à observer le passage de Mercure met au point sur l'image de la planète, sur le bord du Soleil, ou sur une tache solaire, arrivera-t-il toujours à cette position normale? Non, si son objectif est affecté d'aberration. Alors, en effet, l'image focale de la planète ou du noyau d'une tache est, avons-nous dit, lavée sur ses bords d'une lumière plus ou moins vive, diffusée par l'aberration, et elle apparaît mal terminée, surtout si l'air est agité. Nous-mêmes, dans les expériences de cabinet, avons longtemps hésité sur la mise au point de l'oculaire, lorsque nous faisions usage de toute l'ouverture de l'objectif de Merz, jusqu'à ce que nous ayons eu la pensée de mettre au point sur un petit trou à contours dentelés. Dans les mêmes conditions, privé du secours de l'expérience, l'observateur fera mouvoir son oculaire, jus-

qu'à ce qu'il obtienne une image de la planète ou de la tache solaire la plus noire sur son contour : il s'arrêtera dans la position du *minimum d'aberration*.

Si nous considérons la marche des rayons réfléchis ou réfractés par un système de surfaces non aplanétiques nous trouvons, en deçà ou au-delà du sommet de la caustique qui représente le foyer, un cercle où les rayons centraux qui ont déjà rencontré l'axe coupent ceux qui, venant des bords, n'ont pas encore convergé sur cette ligne (aberration positive) (*fig.* 5), ou inversement (aberration négative) (*fig.* 6). Ce cercle est la section minima du faisceau, c'est le cercle du minimum d'aberration généralement peu distant du foyer lui-même. L'oculaire, mis au point sur ce cercle, donnera pour une étoile un disque lumineux presque uniforme et aussi réduit que possible, tandis qu'au foyer l'image se compose d'un très-petit disque central entouré d'anneaux et d'une auréole d'aberration. Une planète présentera également un disque bien limité. Comme la distance au foyer est peu considérable, les anneaux de diffraction pourraient se voir encore, s'ils n'étaient noyés dans la lumière très-vive des bords. Avec un objectif comme celui de Merz, de $0^m,257$, on peut aussi voir alors les anneaux résultant de la forme même de l'objectif (page 135).

Si l'on vise dans ces conditions une planète près des bords du Soleil, l'astre brillant est augmenté d'une bordure égale au demi-diamètre du cercle d'aberration, la planète est diminuée d'autant : des mesures micrométriques faites dans les deux positions de l'oculaire nous ont démontré la réalité de cette diminution. Nous avons donc, en vertu d'un phénomène physique, une déformation des images

identique à celle que l'on attribue généralement à l'irradiation oculaire.

En outre, l'achromatisme n'existant plus pour cette section des faisceaux réfractés, une pareille image se trouve forcément teintée sur les bords.

Que l'on puisse, avec un instrument doué d'aberration, mettre au point dans les conditions ainsi définies, c'est ce qu'il est facile de prouver. Il n'est personne qui n'ait remarqué combien il est difficile de mettre un oculaire au point sur la Lune et qu'une mise au point obtenue sur cet astre ne vaut souvent rien sur les étoiles. Sur la Lune, en effet, on cherche à obtenir l'image la moins affectée d'aberration en apparence, tandis que sur une étoile on s'inquiète peu de l'auréole rayonnante qui entoure le disque central. Les descriptions des apparences de Mercure nous en fournissent encore une preuve directement applicable aux phénomènes que nous étudions. L'objectif de la lunette employée à Marseille par M. Le Verrier pour l'observation du dernier passage de Mercure est fortement affecté d'aberration (1). L'image de la planète devait donc, si l'oculaire était

(1) Pour connaître les qualités de cet instrument, nous avons prié M. Stephan de nous donner une description des apparences que présente l'image d'une étoile, soit dans le plan focal, soit en dehors de ce plan. Munie du diaphragme et de l'oculaire employés par M. Le Verrier, cette lunette, dirigée vers Aldébaran, a donné au foyer une image bien circulaire, mais entourée d'une auréole d'aberration. Si l'on enfonce l'oculaire, le disque central, au lieu de s'épanouir en conservant un éclat uniforme, se transforme en une large couronne à bords dentelés et enfermant un espace très-noir, au centre duquel est un point brillant presque imperceptible. En tirant à soi l'oculaire, on obtient une couronne brillante enfermant un espace d'un beau violet, avec un petit point violet très-brillant au centre. A ces caractères on reconnaît une

pointé sur le plan focal, présenter une dégradation progressive de lumière des bords vers le centre, comme elle a apparu à M. Stone, par exemple. Or M. Le Verrier dit dans sa Note à l'Académie : « Je suis parvenu à obtenir une image très-noire, à bords tranchés, et sans aucune trace de cette sorte de pénombre, dans laquelle certains observateurs ont cru voir un effet de l'atmosphère qui doit environner Mercure. » Voilà donc un instrument connu, qui, pour l'observation, a été pointé dans des conditions parfaitement définies. Cette image noire, ces bords tranchés, dans le cas d'une lumière aussi vive que celle du Soleil, ne peuvent s'obtenir qu'en pointant l'oculaire sur le cercle d'aberration minimum. On doit regretter que les observateurs n'aient pas tous noté, avec autant de précision que l'a fait M. Le Verrier, les conditions de leurs observations.

Or qu'arrive-t-il lorsque l'image de la planète, définie comme il vient d'être dit, s'approche du bord du Soleil?

A mesure que la distance des deux bords devient moindre, la quantité de lumière émise par le filet solaire diminue rapidement, et, diffusée comme elle est sur le disque *réel* de la planète d'une part, en dehors du Soleil de l'autre, elle est bientôt assez pâle pour que les anneaux noirs réapparaissent à l'extérieur du bord *apparent* de la planète et à l'intérieur du bord *apparent* du Soleil, dans la position qu'indique la *fig.* 7, tandis qu'ils sont toujours noyés dans

---

forte aberration ; il faut y joindre un défaut d'achromatisme très-marqué. Nous devons dire que cet objectif a été fourni par la maison Secrétan, comme lentille et non comme objectif ; il est porté sur les inventaires comme lentille achromatique.

la lumière d'aberration pour tout le reste du contour. La distance réelle des deux disques est alors mesurée par la largeur de la frange centrale de ce double système ; mais, à la différence de ce qui a lieu avec un objectif aplanétique, ici la lumière du filet central ne l'emporte pas sur celle des autres franges brillantes. De plus, toutes ces franges sont élargies par suite du défaut d'achromatisme des faisceaux lumineux dans cette position de l'oculaire. L'espace compris entre les bords apparents de la planète et du Soleil est donc recouvert d'un système de larges franges sombres séparées par des franges très-pâles et colorées (1).

Telle est l'apparence du phénomène avec un objectif à large ouverture, possédant une aberration bien régulière et assez faible pour être considéré comme une pièce d'exposition, c'est-à-dire avec l'objectif de Merz de $0^{m},257$ d'ouverture, collimé au moyen de l'objectif de M. L. Foucault de $0^{m},240$. Mais supposons un instrument plus petit, affecté d'un égal degré d'aberration, moins achromatique ; ajoutons à l'effet de ces défauts de l'instrument les ondulations de l'image, qui ne permettent jamais de voir sur la planète les anneaux caractéristiques de l'image focale d'un disque noir. Les franges qui se résolvaient vont se confondre en une masse sombre, reliant les bords apparents de la planète et du Soleil. Le pont va se former, et cela d'autant plus tôt que la lumière, qui devrait être condensée dans le filet de séparation, sera diffusée sur une étendue plus considérable.

(1) Il faut encore ajouter à ces franges de diffraction l'effet de la segmentation en anneaux provenant de la discontinuité des surfaces de l'objectif.

Nous avons supposé jusqu'ici la position du minimum d'aberration assez rapprochée du plan focal pour que l'on puisse encore voir les franges sur les bords des images. Il pourra bien arriver qu'il n'en soit pas ainsi ; alors l'aberration éparpillera la lumière du filet de séparation sur un espace plus considérable encore. Bien avant de s'évanouir, ce filet cessera d'être visible et sera simplement remplacé par un espace obscur, un pont noir qui réunira les bords apparents des deux astres (*fig.* 8).

Il importe de remarquer que le rôle attribué ici à l'aberration est entièrement distinct de celui que fait jouer à l'irradiation l'hypothèse de Lalande. L'irradiation est un phénomène subjectif, affectant l'image au fond de l'œil, mais non dans le plan focal de la lunette ; nous avons donc pu lui appliquer l'objection que nous avons développée plus haut ; mais cette critique n'atteint pas l'explication du pont par l'aberration. Tandis que l'irradiation, telle que l'admettent ses partisans, fait naître, autour d'un point, dans l'œil, une excitation lumineuse égale à celle du point lui-même, sans diminuer sensiblement l'intensité en ce point, l'aberration est un phénomène réel, en vertu duquel la lumière d'un point est diffusée sur un cercle d'étendue déterminée. Si donc on veut appliquer au cas actuel la construction que nous avons donnée pour le cas de l'irradiation, et elle s'y applique en effet, il ne faut pas oublier de réduire l'intensité d'éclairement de chaque cercle dans le rapport inverse du diamètre de ce cercle au diamètre du disque élémentaire qui représente un point dans l'image focale aplanétique.

En résumé, les effets de l'aberration et de la mise au

point dans la position de l'oculaire qui donne à la planète les contours les plus noirs et les mieux tranchés, sont ceux-ci : diminution du diamètre de la planète, augmentation de celui du Soleil et diffusion, sur l'intervalle ainsi augmenté des deux bords apparents, de la lumière du mince filet qui sépare les bords réels, d'où assombrissement et disparition de ce filet à l'instant où sa lumière affaiblie cesse d'être visible auprès de l'éclat des portions voisines du Soleil.

Quelle est à ce moment la distance réelle des deux bords? Voici les nombres que nous ont donnés un grand nombre d'essais :

	O	G	D	D′	D″
	m		p	"	s
Objectif de Merz	O = 0,240	G = »	D = 8,5	D′ = 0,85	D″ = 12,8
Lunette de l'Empereur. .	0,095	112	6,4	0,64	9,6
Lunette de théodolite. .	0,050	50	11,0	1,10	16,5

Il nous a paru intéressant de soumettre au même genre d'épreuve d'anciens objectifs, tels que ceux qu'employaient les astronomes du XVIIe et du XVIIIe siècle. Parmi les nombreux spécimens que possède l'Observatoire, nous avons choisi deux lentilles, les seules qui portent une indication authentique. La première, de 12 centimètres d'ouverture et 12 mètres de foyer, porte gravé sur son bord : *Giuseppe Campani in Roma*, 1672. L'autre est accompagnée de la note suivante : « Objectif de vingt-quatre piés de foyer provenant du cabinet du Roy de Passy, près la uette, apporté à l'Observatoire par Caroché, qui l'avait prêté à M. Burckardt pour l'Observatoire de l'École militaire. » Il est diaphragmé à 87 millimètres par deux feuilles de papier noir.

Malgré sa grande longueur focale, l'objectif de Campani ne donne que de mauvaises images. Il est presque impossible, dans nos expériences, de noter autre chose que l'apparition du ligament obscur : elle a lieu à une seconde au moins du contact réel.

Au contraire, l'objectif de vingt-quatre pieds, de très-petite ouverture, il est vrai, nous a donné de très-bons résultats. Le pont noir commence à se former à $0'',41$ du contact réel; mais, en opérant avec précaution, on peut arriver à établir le contact avec une erreur de $0'',1$ seulement. On voit quelles divergences auraient données des observations simultanées faites avec ces deux objectifs.

Ces nombres et les précédents sont tout à fait du même ordre de grandeur que les divergences qui se sont présentées, dans la dernière observation du passage de Mercure, entre les résultats des observations où le contact s'est produit géométriquement et ceux des observateurs qui ont pris, pour signal du contact réel, l'apparition du ligament noir.

Mais si, négligeant cette indication, l'astronome veut, malgré la présence du ligament, attendre le contact géométrique des deux disques apparents, il court le risque de ne plus pouvoir rien noter. C'est ce que nous ont montré nos essais, et c'est aussi ce qui résulte des dessins des astronomes de Greenwich. Peut-être faut-il expliquer ainsi les nombres évidemment trop forts donnés par quelques observateurs.

Quant au phénomène singulier signalé par MM. Oppolzer et Tremeschini, il paraît tenir uniquement aux ondulations

atmosphériques. Dans les essais que nous avons tentés pour apprécier l'influence de ces ondulations sur la formation du ligament obscur, nous avons remarqué que la présence d'un corps chaud au-dessous de la ligne de visée, ou la diffusion de la vapeur d'éther dans le voisinage de l'objectif, produit parfois des tressaillements de l'image de la planète qui la font sortir en partie du disque du Soleil. Il est tout à fait impossible alors de reconnaître à quel moment a lieu le contact.

Les ondulations du limbe du Soleil, sans produire toujours des phénomènes aussi extraordinaires, ont dû influer souvent sur le moment observé et expliquent en très-grande partie les différences des nombres notés par les observateurs qui n'ont pas vu de ligament noir. C'est à ces ondulations et à l'incertitude qui en résulte que nous attribuons la plupart des nombres tardifs : l'astronome n'a pas voulu enregistrer le moment du contact avant d'être bien assuré qu'il avait eu lieu, avant de s'être convaincu que l'interruption du filet lumineux n'avait pas été produite par une ondulation extraordinaire ; et dès lors il a noté un temps trop fort de plusieurs secondes. Une semblable ondulation se produisant au moment du contact empêche de le percevoir, et, lorsque tout rentre dans l'ordre, le contact semble se manifester par plusieurs points à la fois. Telle nous paraît être en particulier l'explication du phénomène signalé par M. Ventosa.

L'application des résultats de nos expériences aux observations du dernier passage de Mercure nous permet de poser les conclusions suivantes :

1° Parmi les nombres si différents notés par les divers observateurs pour le temps du deuxième contact interne, *ceux-là seuls* représentent avec certitude l'instant réel du phénomène, qui se rapportent à des observations faites à l'aide d'instruments d'assez grande ouverture, non affectés d'aberration, et où le contact s'est produit géométriquement sans amener aucun phénomène particulier.

La moyenne des huit résultats qui offrent ces caractères est $21^h 9^m 32^s,6$. Il n'est pas douteux que les résultats exacts sont beaucoup plus nombreux; mais l'absence d'indications suffisantes ne nous permet pas aujourd'hui d'en admettre d'autres que ceux que nous avons signalés plus haut.

2° L'apparition d'un pont ou ligament noir est un phénomène étranger, introduit par les défauts de l'objectif. Si, dans le cas d'une mise au point très-parfaite, cette apparition n'a pas faussé notablement le résultat, elle laisse néanmoins subsister un doute très-légitime sur sa valeur.

3° Lorsque le ligament noir s'est montré en même temps que le disque de la planète était uniformément obscur et à contours bien tranchés, on peut affirmer que la mise au point a été faite, non sur l'image focale, mais sur le cercle d'aberration minimum.

L'apparition du ligament devance alors de beaucoup l'instant du contact réel. Elle empêche d'ailleurs complétement d'apprécier l'instant du contact géométrique.

Après avoir essayé, à l'aide de l'expérience et des notions puisées dans les utiles enseignements que l'un de nous a reçus de M. L. Foucault, de jeter quelque lumière dans la

confusion des observations du passage de Mercure, il nous sera permis, vu l'importance du sujet, de hasarder quelques suggestions relativement aux observations du prochain passage de Vénus.

Nous devons faire remarquer tout d'abord que le désaccord des dernières observations a porté peut-être les esprits à s'exagérer les difficultés de l'appréciation des moments des contacts. Des astronomes, débarrassés de toute idée préconçue au sujet du phénomène à observer, s'attachant uniquement à noter le contact réel, sans se préoccuper des apparences, ont, avec les instruments actuels, de très-grandes chances de voir les choses se passer normalement. Si les astronomes de Greenwich ont tous noté l'apparition du ligament noir, c'est peut-être parce qu'ils étaient sous l'empire de la conviction que cette apparition signalait le moment du contact réel. Elle a dû échapper à bien des yeux non prévenus; mais néanmoins il est nécessaire que les observations prochaines de Vénus se fassent dans des conditions irréprochables.

Nous croyons avoir démontré la possibilité d'obtenir l'instant des contacts réels intérieurs de la planète et du Soleil, et donné les caractères d'une bonne observation. Pour la réaliser avec certitude, il sera indispensable d'employer des instruments de grande ouverture, $0^{m},20$ au moins, non diaphragmés, et surtout parfaits au point de vue de la convergence des rayons.

Les télescopes à miroir argenté de M. L. Foucault, bien réglés, présentent au plus haut degré la perfection optique exigée; mais, bien qu'ils se recommandent encore par la facilité du transport et de l'installation, néanmoins nous

n'oserions pas en proposer l'usage à moins de précautions spéciales. Il faut éviter à tout prix l'échauffement de l'air renfermé dans le tube et celui du miroir. L'emploi des tubes à claire-voie peut obvier au premier inconvénient; le second demande d'autres soins. Un miroir argenté à neuf est protégé par la couche réfléchissante contre la chaleur solaire, puisqu'elle en renvoie les 94 centièmes; mais l'observateur ne peut alors, sans l'emploi d'oculaires spéciaux, se défendre lui-même contre la chaleur et la lumière condensées dans l'image. Or ces oculaires présentent des dangers, au point de vue optique, par les déformations que l'échauffement peut leur faire éprouver.

Il vaudrait donc peut-être mieux ne pas argenter le miroir, en donnant à la seconde surface du verre une courbure telle que les rayons en émergeassent normalement; le miroir se laisserait alors traverser par une grande partie de la lumière et de la chaleur, mais il s'échaufferait cependant, et il serait nécessaire alors de ne le démasquer que peu d'instants avant l'observation, comme l'a recommandé M. Faye. Il est vrai que l'astronome, à moins d'avoir deux instruments, se verrait forcé par là d'abandonner d'autres observations très-importantes dont nous allons parler tout à l'heure.

Heureusement, M. L. Foucault nous a légué et les moyens d'obtenir des objectifs parfaits et aussi le procédé le plus efficace pour éviter les effets fâcheux de la chaleur solaire. L'instrument par excellence pour l'observation des passages de Vénus est une lunette pourvue d'un *objectif aplanétique, argenté sur sa surface extérieure.* Une longue expérience nous a montré que l'observation du Soleil se fait, à l'aide

de l'objectif argenté, avec moins de fatigue pour l'œil que celle de la Lune. L'air intérieur de la lunette ne s'échauffe pas, et par suite l'image présente une netteté beaucoup plus grande que celle du même astre vu au même moment dans une lunette ordinaire. Les dispositions usitées de micromètres s'appliquent sans danger pour les fils, sans qu'il y ait à redouter l'échauffement des pièces métalliques.

On peut craindre qu'au moment de l'observation, le ciel ne soit pas très-pur et que la couche d'argent n'empêche alors de voir le phénomène. On évitera cet inconvénient en couvrant l'objectif d'une couche très-mince de métal, insuffisante pour le cas d'un soleil très-vif, et, s'il est nécessaire, on absorbera le reste de la lumière à l'aide d'un verre gradué. Cette couche forme ce que M. L. Foucault appelait la *demi-argenture,* qui s'obtient à volonté par les procédés de M. Martin (*Annales de Chimie et de Physique,* 4e série, t. XV).

L'ouverture de l'objectif doit être de 0^{m},20 au moins; le grossissement, dont l'influence est très-faible, doit être compris entre 100 et 200 fois. Il est nécessaire que la lunette soit montée équatorialement, afin que l'image de la planète puisse être aisément maintenue au milieu du champ, condition importante d'une bonne observation. L'expérience, acquise lors de l'expédition de Malacca pour l'observation de l'éclipse de Soleil du 18 août 1868, nous a appris que ce mode de monture peut être aisément réalisé en même temps que les conditions de facilité du transport et de l'installation.

La mise au point de l'oculaire exige, nous l'avons vu, une attention toute spéciale. L'objectif étant supposé

aplanétique, elle ne présentera pas les difficultés qui proviennent de l'hésitation de l'observateur entre la position où les détails sont les plus nets et celle où le disque d'une planète, le noyau d'une tache, présente les contours les mieux tranchés. Elle pourra donc être faite *à l'avance* sur le Soleil lui-même, dans de bonnes conditions atmosphériques. Alors il est indispensable que la lunette porte un réticule de fils d'araignée, qui sera, dans ces observations préalables, mis exactement dans le plan focal et conservé dans cette position comme le micromètre d'un instrument des passages. La mise au point de l'oculaire au moment de l'observation se fera sur ces fils et non sur le Soleil qui peut être ondulant. L'examen des observations de Mercure nous a fait voir que les équatoriaux fixes, munis de leurs micromètres, ont donné les meilleurs résultats.

Cependant il serait utile de pouvoir vérifier ce réglage des fils sur une mire d'un pointé plus facile que le Soleil. Nous ne pouvons, à cause de l'argenture, diriger l'instrument sur les étoiles. Un collimateur portant en son foyer un très-petit trou, vivement éclairé par la lumière solaire, ou la lumière de Drummond, ou celle du magnésium si l'on veut opérer de nuit, donnera la vérification exigée. On devra choisir pour collimateur un télescope à miroir argenté, retouché par les méthodes de M. L. Foucault, de plus grande ouverture que celle de l'objectif, et dont la mise au point aura été faite avec le plus grand soin sur les étoiles. La lame percée d'un petit trou se place dans l'oculaire lui-même, au lieu du dernier diaphragme compris entre les deux verres de l'oculaire négatif. Nous avons dit qu'il est bon de laisser sur les bords du trou une

dentelure dont l'image doit apparaître très-nette au foyer de l'instrument. (Voir la note II, page 169.)

Toutes ces précautions prises, l'observateur est encore à la merci des circonstances atmosphériques qui, venant troubler l'image ou la faire disparaître au moment du contact, peuvent faire perdre, on l'a vu, le fruit de lointaines et pénibles expéditions. Les ondulations du bord du Soleil peuvent aussi altérer le temps du contact, et une bonne part des divergences déjà constatées doit être attribuée à cette cause.

Nous croyons donc indispensable de joindre à l'observation des contacts *une série de mesures des positions successives de la planète sur le disque du Soleil*, particulièrement au voisinage des deux contacts, d'où il sera facile de conclure les moments précis de l'entrée et de la sortie. On suppléera ainsi à des observations qu'un hasard peut faire manquer; on en contrôlera les résultats si on les a obtenus; enfin l'observation *complète* du passage pourra se faire en un lieu d'où l'on ne verrait ni l'entrée ni la sortie de Vénus.

Ces mesures pourront être effectuées, comme l'a proposé M. Faye, par la photographie. Elles pourront être prises au moyen de micromètres à fils; enfin on obtiendrait d'excellents résultats en déterminant, au moyen des prismes biréfringents d'Arago, les plus courtes distances, à des instants déterminés, de la planète au bord du Soleil.

Les expériences que nous avons tentées, les résultats obtenus dans des conditions normales lors du dernier passage de Mercure, donnent tout espoir que, en suivant les indications que nous osons présenter, on arrivera, par un temps favorable, à déterminer les instants des contacts

intérieurs de Vénus avec la précision d'une seconde de temps. Ce résultat, s'il est atteint, sera dû tout entier aux travaux de notre regretté collègue, M. L. Foucault.

NOTE I.

SUR LE POUVOIR OPTIQUE.

Nous avons mis à profit notre installation au Luxembourg, pour vérifier la loi des pouvoirs optiques énoncée par L. Foucault, dans le Mémoire qu'il a publié en 1859, sur la construction des télescopes en verre argenté (*Annales de l'Observatoire impérial, Mémoires,* t. V, p. 219).

Pour juger de l'effet optique d'un instrument « et pour en donner une expression moins vague que celle qu'on emprunte habituellement au langage ordinaire, il convient, dit L. Foucault, de le diriger vers une mire lointaine, systématiquement composée de manière à offrir à l'observation des détails placés à la limite de visibilité. On construit ces mires d'épreuve en traçant sur une lame d'ivoire des séries de divisions partagées en groupes successifs où le millimètre est fractionné en parties de plus en plus petites. La largeur du trait doit varier d'un groupe à un autre en proportion telle, que dans chacun d'eux les espaces noircis aient la même étendue que l'intervalle qui les sépare. Quand on considère à l'œil nu une pareille mire placée à distance, ou qu'on l'observe avec un instrument

trop faible, les différents groupes présentent une teinte grise uniforme ; mais, si l'on diminue la distance ou si l'on prend des instruments plus puissants, on voit les groupes de divisions les plus écartées se résoudre en traits distincts, tandis que les autres restent confondus. En augmentant le grossissement, et en éclairant suffisamment la mire, on s'assure que dans les groupes qui demeurent uniformément gris, la confusion des traits n'est pas imputable à l'impuissance de l'œil ; elle est donc à mettre tout entière sur le compte de l'instrument qui résout l'un des groupes et ne résout pas le suivant. En constatant ainsi quel est le groupe dont les divisions se trouvent par leur rapprochement placées à la limite de visibilité, on acquiert la preuve positive que l'instrument sépare les parties écartées par un certain espace angulaire et ne sépare pas celles qui sont plus rapprochées les unes des autres. Il suit de là que l'aptitude de l'instrument à pénétrer les détails des objets observés, ou ce qu'on peut appeler son *pouvoir optique,* est inversement proportionnelle à l'angle limite de séparabilité des divisions contiguës ; il a en définitive, pour expression, le quotient de la distance de la mire par l'intervalle moyen des dernières parties distinctes. »

Par un grand nombre d'expériences faites sur des miroirs et des objectifs de toutes dimensions et de toute distance focale, L. Foucault a trouvé que le pouvoir optique est indépendant de la longueur focale (*) ; qu'il varie uniquement et proportionnellement avec l'étendue transversale

---

(*) Cette indépendance n'est pas absolue, mais seulement exacte dans la pratique pour les distances focales ordinairement usitées.

du miroir ou de l'objectif, et qu'il peut être compté sensiblement à raison de 150000 unités par 10 centimètres de diamètre.

On peut exprimer la loi de Foucault d'une manière plus pratique, en disant qu'une ouverture de 13 centimètres résout une mire dont les parties sous-tendent un angle d'une seconde. Le miroir ou l'objectif dont l'ouverture sera 2 fois, 3 fois,..., n fois plus grande, résoudra l'angle de $\frac{1''}{2}, \frac{1''}{3}, \dots \frac{1''}{n}$.

Pour vérifier cette loi, nous avons placé devant l'ouverture du réflecteur, au Luxembourg, une feuille de carton mince collée sur une lame de verre et dans laquelle nous avions découpé des réseaux dont les pleins, égaux aux vides, variaient d'un réseau à l'autre par millimètre depuis 2 jusqu'à 10 millimètres. La distance de la mire étant 1 300 mètres, l'angle sous-tendu par la somme d'un plein et d'un vide était

Pour le réseau n°	1	0″6
—	2	0,9
—	3	1,3
—	4	1,6

et ainsi de suite jusqu'au n° 9.

L'expérience nous a montré que les objectifs de Merz (257 millimètres d'ouverture) et de L. Foucault (240 millimètres) résolvent bien le n° 1, l'avantage restant cependant à l'objectif de L. Foucault, malgré son ouverture moindre, en raison de son plus haut degré d'aplanétisme. Réduits à 20 centimètres, ils ne peuvent plus résoudre le n° 1, mais très-aisément le n° 2, que résolvent encore l'objectif de

Foucault et le télescope de $0^{m},20$, lorsqu'on a réduit leur ouverture à 15 centimètres. L'objectif de Merz n'a pas ce pouvoir. A 10 centimètres, il ne résout que le n° 4 ; l'objectif de Foucault résout encore le n° 3 assez bien ; le télescope à miroir argenté en donne une vision très-nette. On voit ainsi l'influence des défauts des objectifs se marquer et diminuer le pouvoir optique que leur assigne leur ouverture.

Ce pouvoir optique est indépendant du grossissement : dès qu'un oculaire, assez fort pour permettre de bien distinguer les éléments de la mire avec une ouverture suffisante, ne résout pas ces éléments avec une ouverture moindre, il est inutile de tenter la résolution avec des oculaires plus forts ; l'image conserve la même teinte grise générale. Le grossissement par l'oculaire ne peut donc en aucune façon suppléer au défaut d'ouverture de l'objectif. Si, au contraire, l'ouverture est suffisante pour donner la résolution, l'image présente déjà, même avec les plus faibles oculaires, une apparence de netteté et de finesse, sans estompage gris, qui satisfait l'œil et fait juger à l'observateur, encore incapable de discerner les éléments, qu'ils vont devenir visibles avec un grossissement un peu plus fort.

L'éclairement relatif des noirs et des blancs n'a pas d'influence appréciable ; nous pouvions éclairer la mire par la lumière directe du réflecteur ou interposer un écran translucide sans changer aucun des caractères que nous venons d'indiquer.

Des nombres précédents il résulte qu'une ouverture de 10 centimètres suffit pour résoudre une mire dans laquelle la somme d'un blanc et d'un noir sous-tend un angle

de 1″,3. C'est exactement le résultat donné par L. Foucault.

Il est très-remarquable que le Rév. W.-R. Dawes, par une longue étude des étoiles doubles à l'aide d'instruments très-variés, ait été conduit à énoncer pour le pouvoir de séparation des objectifs la loi même démontrée par L. Foucault, dont le travail paraît lui être resté inconnu. Dans son *Catalogue of micrometrical measurements of double Stars* (*Memoirs of the R. Astr. Society,* tome XXXV, page 158), il dit en effet :

« Il est d'un grand intérêt de déterminer le pouvoir de séparation d'une ouverture d'objectif donnée. M'étant assuré, depuis trente-cinq ans, par la comparaison des images formées par des lunettes d'ouvertures très-variées, que les diamètres des disques stellaires varient en raison inverse du diamètre de l'ouverture, j'examinai avec des ouvertures extrêmement différentes un très-grand nombre d'étoiles doubles, dont les distances me semblaient bien déterminées et non sujettes à un changement rapide, dans le but de déterminer le pouvoir séparateur de ces ouvertures, exprimé en pouces d'ouverture et en secondes de distance. J'obtins ainsi, comme expression de la constante du pouvoir séparateur, qu'un pouce d'ouverture (2^c,54) sépare juste une étoile double composée de deux étoiles de sixième grandeur, si la distance des centres est 4″,56, les circonstances atmosphériques étant assez favorables. D'après cela, le pouvoir de séparation d'une ouverture donnée a sera exprimé par la fraction $\frac{4'',56}{a}$....

Il ne serait pas illogique de penser que l'éclat des étoiles

pourrait changer beaucoup la distance que peut résoudre une ouverture donnée; mais, quoiqu'il puisse en résulter *quelque* différence, cette influence est beaucoup moindre qu'elle ne le paraît à première vue. Cela provient des grossissements beaucoup plus forts que peuvent supporter les étoiles brillantes, et, comme le diamètre des disques ne croît pas en proportion du grossissement, la séparabilité de toutes les grandeurs est à peu près la même, pourvu que l'état de l'atmosphère permette cet accroissement de grossissement. »

Si la loi du pouvoir séparateur de W. Dawes coïncide avec la loi des pouvoirs optiques de L. Foucault, on remarquera que sa constante n'est pas la même que celle que Foucault a déduite de l'étude des mires. En effet, d'après l'observateur anglais, il suffit d'une ouverture de 4,56 pouces anglais (11^{c},58) pour résoudre la seconde d'arc; d'après Foucault, il faut une ouverture de 13 centimètres. Cette différence de résolubilité des mires et des étoiles doubles n'avait pas échappé à Foucault, qui en a donné l'explication à la page 221 de son Mémoire sur les télescopes.

NOTE II.

SUR L'EMPLOI DES OBJECTIFS ARGENTÉS.

L'emploi d'un objectif argenté pour l'observation du passage de Vénus offrira de grands avantages, à la condition qu'il soit possible de mettre à l'avance les fils du mi-

cromètre exactement au foyer et de déterminer la valeur du tour de la vis micrométrique.

La mise au point ni la détermination de la valeur du tour de vis ne peuvent se faire sur les étoiles : la lumière de Sirius lui-même est très-peu visible à travers la couche d'argent. Il n'est pas possible, d'autre part, d'obtenir une bonne mise au point sur le Soleil ; on devra donc recourir, pour cette première opération, à l'emploi d'un collimateur exactement pointé sur l'infini et vivement éclairé. On pourra employer soit une lunette, soit mieux un télescope à miroir de verre argenté, de même ouverture que l'instrument à régler. On placera au foyer une croisée de fils que l'on mettra exactement au foyer au moyen des étoiles, et l'on visera ensuite dans ce collimateur en éclairant ses fils soit par la lumière solaire, soit à l'aide d'une lampe au magnésium.

On doit à M. Ad. Martin la remarque que ce procédé, qui exige que le collimateur soit réglé sur l'infini, donne lui-même le moyen de s'assurer que cette condition est remplie. En effet, dans ce cas seulement, la mise au point de l'oculaire de la lunette sur l'image des fils du collimateur est indépendante de la distance des deux objectifs (ou de l'objectif au miroir), les faisceaux étant formés de rayons rigoureusement parallèles. Si le foyer du collimateur était mal déterminé, la mise au point de la lunette varierait avec cette distance. D'où le moyen même de régler le collimateur sur l'infini sans avoir recours aux étoiles. On peut alors remplacer la croisée des fils par une très-petite ouverture circulaire percée dans une lame métallique, dont la visée est plus nette que celle des fils noirs sur champ éclairé.

Quant à la détermination de la valeur du tour de vis, elle s'obtient le plus simplement par une méthode tout à fait générale, qui consiste à emprunter à un instrument muni d'un cercle la valeur angulaire de la bifurcation des rayons dans un prisme biréfringent et à la transporter à la lunette dont on veut étudier le micromètre. Devant l'oculaire du premier instrument, d'un cercle méridien par exemple, on place un prisme biréfringent achromatisé, et amenant successivement l'image ordinaire du fil mobile sur l'image extraordinaire d'un fil fixe du réticule, puis son image extraordinaire sur l'image ordinaire du même fil, on évalue, en tours de la vis, le double de la distance apparente des deux images d'un même fil. On répète ensuite la même opération sur la lunette à objectif argenté, le réticule étant bien au foyer et l'oculaire mis au point avec soin sur les fils.

Appelons n et n' les nombres de tours de vis ainsi déterminés, l et l' les longueurs absolues des pas de vis, g et g' les grossissements des oculaires. Puisque le même observateur s'est servi du même prisme biréfringent,

$$nlg = n'l'g'.$$

Soient F et F′ les distances focales des objectifs; les valeurs angulaires du tour de vis seront respectivement

$$\alpha = \frac{l}{F}, \qquad \alpha' = \frac{l'}{F'},$$

Le grossissement produit par l'objectif, c'est-à-dire le rapport des angles sous lesquels l'image focale d'un objet situé à l'infini serait vue, d'abord du second point nodal de

l'objectif, puis à la distance d de la vue distincte, a pour expression

$$g_1 = \frac{F}{d}, \qquad g'_1 = \frac{F'}{d};$$

donc

$$\alpha = \frac{l}{dg_1}, \qquad \alpha' = \frac{l'}{dg'_1},$$

d'où

$$\alpha' = \alpha \frac{l'}{l} \frac{g_1}{g'_1} = \alpha \frac{ngg_1}{n'g'g'_1}.$$

Or les produits gg_1 et $g'g'_1$ représentent rigoureusement le grossissement total de la lunette, l'œil étant appliqué à l'anneau oculaire; donc

$$\alpha' = \alpha \frac{n}{n'} \frac{G}{G'}.$$

Il suffit donc, après avoir mesuré, comme il a été dit, les nombres de tours de vis n et n', de déterminer les grossissements actuels des deux instruments pour obtenir la valeur α' du tour de vis de la lunette à objectif argenté en fonction de la valeur α du tour de vis de la lunette auxiliaire. Cette détermination se fera à l'aide du dynamètre de Ramsden, ou mieux par le procédé de M. Ad. Martin, qui donnera toute la précision nécessaire (*).

Ce mode de détermination peut évidemment s'appliquer à une lunette quelconque et s'employer avec avantage pour les équatoriaux. Il sert aussi à l'étude des irrégularités du pas de la vis.

(*) Ad. Martin, Interprétation géométrique et continuation de la théorie des lentilles de Gauss, *Annales de Chimie et de Physique*, 4e série, tome X.

Mé

Imp

l'objectif, puis à la distance d de la vue distincte, a pour expression

$$g_1 = \frac{F}{d}, \qquad g'_1 = \frac{F'}{d};$$

donc

$$\alpha = \frac{l}{dg_1}, \qquad \alpha' = \frac{l'}{dg'_1},$$

d'où

$$\alpha' = \alpha \frac{l'}{l} \frac{g_1}{g'_1} = \alpha \frac{ngg_1}{n'g'g'_1}.$$

Or les produits gg_1 et $g'g'_1$ représentent rigoureusement le grossissement total de la lunette, l'œil étant appliqué à l'anneau oculaire ; donc

$$\alpha' = \alpha \frac{n}{n'} \frac{G}{G'}.$$

Il suffit donc, après avoir mesuré, comme il a été dit, les nombres de tours de vis n et n', de déterminer les grossissements actuels des deux instruments pour obtenir la valeur α' du tour de vis de la lunette à objectif argenté en fonction de la valeur α du tour de vis de la lunette auxiliaire. Cette détermination se fera à l'aide du dynamètre de Ramsden, ou mieux par le procédé de M. Ad. Martin, qui donnera toute la précision nécessaire (*).

Ce mode de détermination peut évidemment s'appliquer à une lunette quelconque et s'employer avec avantage pour les équatoriaux. Il sert aussi à l'étude des irrégularités du pas de la vis.

(*) Ad. Martin, Interprétation géométrique et continuation de la théorie des lentilles de Gauss, *Annales de Chimie et de Physique*, 4e série, tome X.

Recherches sur l'observation des contacts de Mercure et de Vénus, par MM. C. Wolf et C. André.

Fig. 1.

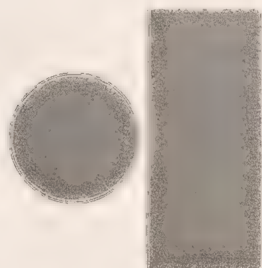


Fig. 3.

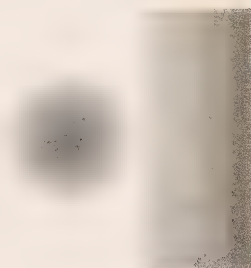


Fig. 7.

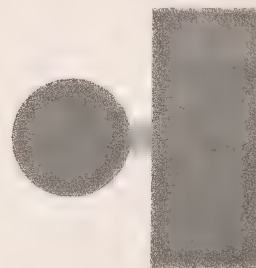


Fig. 2

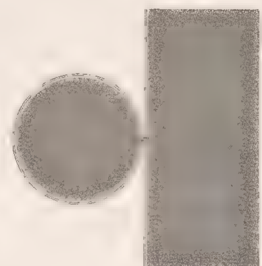


Fig. 4



Fig. 8

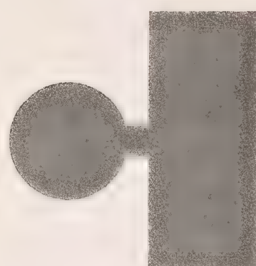


Fig. 5.

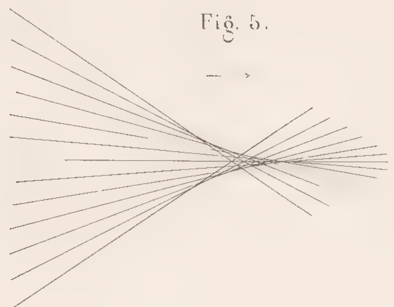
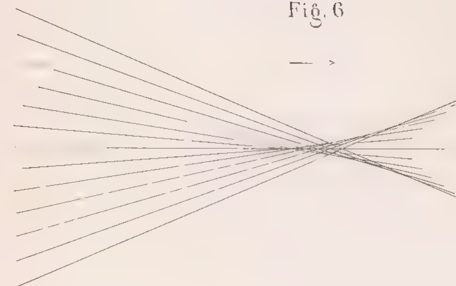


Fig. 6



Imp. Eudes, à Paris

Gravé par L. Perot

NOMINATION

D'UNE

COMMISSION DE MEMBRES DE L'ACADÉMIE DES SCIENCES

POUR SIGNALER LES STATIONS PRINCIPALES DE L'EXPÉDITION

(Extrait du procès-verbal du comité secret du 21 janvier 1870.)

L'ordre du jour appelle la discussion relative au passage de Vénus sur le disque du Soleil en 1874.

M. le Secrétaire perpétuel donne la lecture de la lettre de M. le Ministre de l'Instruction publique, insérée au Compte rendu de la séance publique du 1er février 1869 et des observations de M. E. Laugier qui la suivent.

L'Académie entend successivement les remarques présentées par MM. Faye, Delaunay, maréchal Vaillant, Milne-Edwards, et décide qu'une Commission, composée de la section d'Astronomie, de la section de Géographie et Navigation, et de M. le maréchal Vaillant, sera chargée de signaler les stations principales de l'expédition.

Ces stations connues, les sections intéressées pourront, avec certitude, déterminer les recherches auxquelles devront se livrer les voyageurs.

SUR

L'OBSERVATION PHOTOGRAPHIQUE

DES

PASSAGES DE VÉNUS

ET SUR

UN APPAREIL DE M. LAUSSEDAT

PAR

M. FAYE.

(Extrait des *Comptes rendus des séances hebdomadaires de l'Académie des sciences;* séance du 14 mars 1870.)

Au moment de partir pour un voyage de plusieurs mois, qui ne me permettra pas de coopérer avec mes collègues aux préparatifs de l'observation du prochain passage de Vénus, je tiens à compléter les recherches que j'ai déjà publiées à ce sujet, et à soumettre à tous les astronomes l'opinion à laquelle je me suis arrêté sur l'emploi de la photographie, que j'avais déjà proposé, il y a vingt ans, de substituer à la méthode de Halley. Je désire vivement que la Commission du passage de Vénus veuille bien accorder quelque attention à ces idées, lorsqu'elle aura à s'occuper des méthodes d'observation. Je donnerai aussi lecture

d'une Lettre que M. le commandant Laussedat, dont l'Académie connaît la compétence en fait d'expéditions photographiques, a bien voulu m'adresser sur ce sujet.

L'Académie se souviendra peut-être qu'après avoir discuté devant elle, l'an dernier, les observations originales du passage de 1769 par la méthode de Halley, j'ai été conduit à indiquer quelques moyens propres à atténuer les causes d'insuccès. D'un autre côté deux astronomes de l'Observatoire ont présenté sur le même sujet d'excellentes suggestions. Les difficultés inhérentes à cette méthode n'ont pas préoccupé moins vivement les astronomes anglais et allemands. Toutes ces discussions, d'un intérêt actuel, ont naturellement été rendues publiques.

Il est résulté pour moi, de ce débat européen, la crainte très-sérieuse que l'ancien mode d'observation proposé par Halley, et pratiqué en 1761 et 1769, ne soit pas aussi parfait en pratique qu'il paraissait l'être en théorie, et qu'il ne nous conduise pas au but en 1874, même en y employant des télescopes d'une grande perfection optique. En effet, dans ce mode qui réduit l'observation à celle des contacts internes des disques de Vénus et du Soleil, tout dépend de la possibilité de saisir, à l'entrée, l'instant de la formation d'un très-mince filet de lumière entre les deux contours, ou celui de sa rupture à la sortie. Or les ondulations de l'atmosphère affectent trop le bord du Soleil, lorsqu'il n'est pas très-élevé, pour laisser au phénomène sa netteté géométrique. M. Arago pensait qu'elles avaient pour effet de supprimer par moments des parties d'une étendue sensible sur le bord du disque solaire. On le voit du moins parcouru par un continuel mouvement vermiculaire, qui

lui donne parfois, près de l'horizon, l'aspect dentelé d'une scie. On sent combien la moindre agitation peut retarder la perception d'un mince filet de lumière sur les bords ; car ici on ne saurait compter, comme pour les détails permanents d'une figure, sur ces instants fugitifs de calme que les astronomes anglais appellent *a glimpse,* et que l'observateur attend avec patience dans les cas habituels. D'autre part, la fatigue de l'œil et l'éblouissement causé par la contemplation prolongée d'une grande surface très-lumineuse, la dilatation factice du disque solaire inhérente à toute image optique d'un vif éclat, les petits défauts de la lunette, de la mise au point, etc., se joignent à la cause précédente et achèvent de rendre le succès bien douteux. Les deux mémorables expériences faites en 1761 et 1769, et celles que nous devons à tous les passages de Mercure justifient trop ces appréhensions pour qu'il soit permis de les négliger.

Telles sont aussi, sans aucun doute, les raisons qui auront décidé les astronomes allemands à reléguer au second plan la méthode des contacts, pour mettre au premier un procédé plus sûr à leurs yeux. Une Commission composée de MM. Hansen, Argelander, Paschen, Bruhns, Förster, Auwers et Winnecke, à laquelle M. de Struve a été adjoint comme expert, a été convoquée l'an dernier, à Berlin, par la Chancellerie de la Confédération de l'Allemagne du Nord, à l'effet d'aviser aux préparatifs des expéditions projetées pour le prochain passage de Vénus. Elle s'est prononcée à l'unanimité, dès sa première séance, pour un système de mesure bien connu et déjà pratiqué d'ailleurs, depuis longtemps, dans les passages de Mercure,

lequel consiste à déterminer, à l'aide de l'héliomètre, non pas au bord du Soleil, mais sur le disque même de cet astre, les coordonnées relatives de Vénus, c'est-à-dire sa distance au centre du Soleil et son angle de position.

Ne pouvant partager, je l'avoue, la grande confiance de nos collègues d'outre-Rhin dans cet emploi spécial de l'héliomètre de Fraunhofer, et persuadé aussi que l'usage des micromètres ordinaires serait encore plus pénible et moins sûr, j'estime que le seul mode qui présente des garanties complètes, c'est l'observation photographique, dont j'ai poursuivi depuis si longtemps l'introduction dans les mesures astronomiques. Ce genre d'observation supprime l'observateur, et avec lui l'anxiété, la fatigue, l'éblouissement, la précipitation, les erreurs de nos sens, en un mot l'intervention toujours suspecte de notre système nerveux. Il ne supprime pas les petits troubles d'origine atmosphérique, mais, en permettant de multiplier indéfiniment les épreuves, il promet une compensation parfaite des écarts dus à cette cause. Il ne supprime pas les défauts de l'appareil optique, mais, en ramenant les mesures géométriques à la détermination des centres des disques au moyen du contour entier de leurs circonférences, il fait disparaître la difficulté propre à la méthode de Halley, où tout dépend d'un imperceptible élément de contact entre ces bords, si différents par leurs modes propres de visibilité.

« Ainsi, avec la Commission de Berlin, je voudrais reléguer l'ancien procédé au second plan, mais, au lieu de le remplacer comme elle par les mesures héliométriques où j'entrevois bien des difficultés, je propose de mettre au

premier rang l'observation photographique de Vénus sur le Soleil (1), combinée avec l'enregistrement électrique de l'instant de la production des images, et avec la détermination de l'heure par l'observation photographique du Soleil au méridien (2). Ce serait la suppression complète de l'observateur.

Heureusement tout le monde s'accorde enfin sur ce point, qu'il convient de faire figurer la photographie parmi les procédés d'observation : mais chaque nation agira suivant son génie particulier dans la direction qu'il lui faudra imprimer à l'ensemble de ses entreprises. La visée principale des Anglais, c'est, je crois, de faire réussir une bonne fois la méthode des contacts, proposée par un de leurs plus célèbres compatriotes ; celle des Allemands, c'est l'application de l'héliomètre de Fraunhofer, consacré, chez eux, par le souvenir des belles mesures de Bessel ; la nôtre, à mon avis, devrait être l'application intégrale des méthodes originairement dues aux découvertes de Daguerre, d'Arago et d'Ampère. Nous verrons à quelle nation reviendra l'honneur d'avoir le mieux servi la science dans cette lutte généreuse.

En dehors de toute préoccupation patriotique, ma confiance est fondée sur l'expérience que j'ai acquise il y a bien longtemps, dans les ateliers de M. Porro, en mesurant les magnifiques épreuves que nous avions obtenues (avec M. Quinet, pour la photographie, et MM. Baudoin

(1) Y compris les contacts qui pourraient être photographiés à part.

(2) *Voir* ma Note sur l'état de la photographie astronomique en France (*Comptes rendus*, t. L, p. 965 ; 1860).

et Digney frères, pour l'enregistrement électrique du temps), par l'emploi du collodion sec et au moyen d'une gigantesque lunette de 15 mètres de longueur focale. Les épreuves de l'éclipse de 1858, que j'ai eu l'honneur de présenter le jour même de l'éclipse à l'Académie laissaient bien loin en arrière, malgré quelques défauts uniquement dus à l'exiguïté de nos moyens pécuniaires, tout ce qu'on m'a montré depuis en ce genre. Sur les clichés ainsi obtenus directement au foyer, *sans agrandissement ultérieur*, le diamètre du Soleil était de 14 centimètres et la seconde d'arc valait $\frac{14}{193}$ de millimètre; par suite l'effet total dû à la parallaxe relative de Vénus en 1874 (au moins 40″) répondrait à un déplacement de près de 3 millimètres sur des épreuves pareilles obtenues en deux lieux bien choisis. Or quand bien même cette grandeur considérable serait mesurée grossièrement à l'aide d'une simple règle divisée, un double décimètre par exemple, et par simple estime à $\frac{1}{10}$ de millimètre près, ou à $\frac{1}{30}$ du tout, pour en déduire la parallaxe du Soleil, il faudrait encore diviser ces résultats par 5, et on voit qu'on obtiendrait finalement cette parallaxe à $\frac{1}{150}$ près. Mais en réalité on appliquera à ces épreuves des appareils micrométriques pareils à celui que M. Porro avait disposé pour moi, et l'on poussera beaucoup plus loin l'exactitude. Les épreuves elles-mêmes gagneront en précision si on les obtient à l'aide d'objectifs convenablement achromatisés par des procédés semblables à ceux de M. Rutherford, et parfaitement étudiés d'avance. Enfin on pourra multiplier presque indéfiniment ces épreuves et ces mesures pendant la longue durée du passage. J'ai voulu seulement montrer, par l'exemple de résultats acquis et d'expériences

couronnées de succès, que la méthode photographique conduit aisément au but, au moyen de deux stations convenablement choisies, et ne le cède en aucune manière aux espérances qu'avait fait concevoir autrefois la méthode de Halley.

Il y a plus, la méthode photographique n'exige nullement dans la pratique, comme celle de Halley, la combinaison de deux stations. J'ai remarqué qu'il suffiraît de se placer, avec un héliomètre ou mieux avec un appareil photographique, en un quelconque des points du globe terrestre qui voient le Soleil culminer au zénith pendant un passage de Vénus, pour déterminer complétement la parallaxe relative de cet astre, au moyen de mesures obtenues dans cette seule station. En 1874, cette région est très-voisine du tropique du Capricorne et traverse tout le continent australien. Le point le plus avantageux se trouverait au nord de la baie des Chiens marins. L'effet parallactique, il est vrai, serait deux fois moindre que dans le cas de deux stations combinées; mais je le crois bien suffisant, et il est en tout cas digne de remarque qu'un photographe convenablement outillé obtiendrait ainsi, à lui seul, un résultat supérieur à celui qu'on acceptait encore avec tant de confiance il y a dix ans; il déterminerait à lui seul, je le répète, la distance de la Terre au Soleil avec plus de certitude que tous les savants du monde entier en 1769. L'épreuve mériterait assurément d'être tentée par les observatoires australiens.

Voici le moment de signaler aux observateurs l'appareil ingénieux que M. Laussedat a employé, à deux reprises, en Algérie (avec le concours de M. Girard, pour la photo-

graphie) et en Italie, dans le but d'*observer* photographiquement le passage de la Lune sur le Soleil. M. Laussedat a eu l'idée de rendre fixe la lunette photographique dans une direction horizontale et de renvoyer vers cette lunette la lumière du Soleil au moyen d'un héliostat. Pour être en état, et c'est ici le point capital, de soumettre les épreuves ainsi obtenues à des mesures précises, M. Laussedat a parfaitement reconnu qu'il fallait déterminer avec exactitude l'orientation de l'axe de cette lunette. Il y est parvenu en plaçant celle-ci dans la direction même de sa Lunette méridienne, et en assurant, à l'aide d'un bon niveau, l'horizontalité d'un des bords de la plaque sensible. On obtient ensuite, par le calcul et la connaissance exacte de l'heure, les éléments nécessaires pour transformer les coordonnées mesurées sur les clichés en coordonnées célestes rapportées aux cercles usités en astronomie. M. Laussedat me paraît donc fondé à s'exprimer sur ce sujet comme il le fait dans la Lettre suivante, qu'il a bien voulu m'adresser le 20 février dernier :

Voulez-vous me permettre de vous entretenir d'un autre sujet dont les astronomes s'occupent beaucoup depuis quelque temps. Je veux parler du prochain passage de Vénus sur le disque solaire.

On a cherché, avec le plus grand soin, les localités où l'observation pourra se faire dans les meilleures conditions sous tous les rapports ; on s'est attaché à prévoir les différentes causes d'erreur, les illusions d'optique, etc., qui pourraient infirmer des résultats acquis à grands frais et avec beaucoup de fatigue.

Au nombre des méthodes recommandées, principalement en Angleterre (et je sais combien vous en êtes vous-même partisan), se trouve celle des épreuves photographiques. Les *Monthly Notices* renferment, à ce sujet, des notes extrêmement importantes de M. Warren de la Rue, de M. le major Tennant et de M. Proctor, qui ne vous ont certainement pas échappé.

Une des causes d'erreur dont il semble le plus difficile de se garantir est celle qui dépend de la manière dont les épreuves sont repérées (dont les an-

gles de position sont déterminés) pour permettre la comparaison de celles qui ont été obtenues dans des stations différentes.

Dans le dernier numéro des *Monthly Notices*, M. Proctor indique comment il convient de choisir les stations pour que les effets de cette erreur aient la moindre influence possible sur l'exactitude du résultat. M. Warren de la Rue, de son côté, a montré que la détermination de l'angle de position pouvait se faire avec une grande précision, en répondant aux appréhensions du major Tennant qui ont provoqué les recherches de M. Proctor. Il est certain que l'on devra préférer les stations indiquées par cet astronome pour y prendre des épreuves photographiques; mais, comme elles ne sont pas très-nombreuses, et qu'il me semblerait regrettable de renoncer partout ailleurs à la photographie, je crois devoir vous présenter les réflexions suivantes.

L'inconvénient le plus grave, très-probablement, que l'on rencontre quand on cherche l'angle de position sur une épreuve photographique (et j'entends par là l'angle d'une ligne de repère tracée sur l'épreuve avec le diamètre N.-S. du Soleil), provient des irrégularités de position de la lunette conduite par un mouvement d'horlogerie; c'est, du moins, ce que je suppose. Or cet inconvénient se trouve évité dans la disposition que j'avais adoptée en Algérie, lors de l'observation de l'éclipse totale de Soleil du 18 juillet 1860.

Cette disposition est celle-là même que Foucault a imaginée plus tard pour entreprendre des études variées d'astronomie physique, et qu'il se proposait de réaliser dans un instrument désigné par lui sous le nom de *Sidérostat*. Il serait inutile de vous faire la description d'un appareil que vous connaissez parfaitement, depuis l'époque où vous avez rendu compte à l'Académie des observations faites à Batna. D'ailleurs l'instrument analogue de Foucault vient d'être réalisé avec un très-grand soin. Je me bornerai donc à émettre le désir de voir appliquer le principe sur lequel il est fondé à la solution de la difficulté signalée par les astronomes anglais. Il est très-aisé de voir, en effet, que, la lunette qui porterait l'appareil photographique étant disposée invariablement dans une direction déterminée astronomiquement et repérée à l'aide d'une mire ou d'un collimateur, les irrégularités accidentelles du mouvement du miroir qui projette l'image du Soleil dans l'axe de cette lunette seraient sans danger. On pourrait, dans tous les cas, à l'aide de mouvements de rappel, ramener l'image au centre de la plaque dépolie à laquelle on substitue les plaques sensibles; et quand bien même l'image s'écarterait de cette position normale, on l'y ramènerait sans peine par le calcul.

Je ne veux pas, dans cette Lettre, entrer dans des détails que vous pressentirez sans aucun doute, mais l'expérience que j'ai faite en 1860, et que j'ai répétée en 1867, en Italie, sur des épreuves du Soleil (l'éclipse n'ayant pas pu être observée à cause des nuages), m'a convaincu de l'extrême précision dont la méthode est susceptible.

Ne vous semblerait-il pas prudent, si les astronomes français veulent prendre part aux expéditions qui auront pour but la détermination nouvelle de la parallaxe du Soleil en 1874, de faire, dès à présent, des essais multipliés de photographie et d'étudier les appareils et les procédés, afin d'éviter les mécomptes?

Grâce aux procédés de Foucault, si bien appliqués par M. Martin, il est possible aujourd'hui d'obtenir des miroirs parfaitement plans : cela achève de rendre l'ingénieux appareil de M. Laussedat tout à fait applicable à l'observation du passage de Vénus. Je n'ai pour ma part qu'une modification à proposer, mais elle me paraît essentielle. Les expériences que j'ai faites en 1858 avec une longue lunette de 15 mètres établissent à mes yeux la supériorité des épreuves de grandes dimensions, quand il s'agit de mesures. Celles qu'on a obtenues depuis sont trop petites ; il faudrait au préalable les agrandir ou y appliquer de forts grossissements; or on grossit en même temps les défauts inévitables du cliché primitif qu'il serait superflu d'énumérer ici. Je parle, bien entendu, des défauts photographiques et non des défauts inhérents à toute image optique des astres, tels que les effets de la réfraction accidentelle et de la dispersion atmosphérique. Avec des objectifs de 15 ou 20 mètres de distance focale, par exemple, on obtiendrait du premier coup des images sur lesquelles le déplacement parallactique de Vénus serait représenté, comme je l'ai fait voir tout à l'heure, par une grandeur linéaire qui rendrait absolument impossible toute erreur pareille à celle de l'ancienne évaluation de la parallaxe du Soleil. Sans doute il serait bien difficile d'installer au loin une pareille lunette quand elle doit prendre une direction quelconque ; mais rien n'est plus aisé dans le système de

M. Laussedat, car il suffit de séparer entièrement l'objectif de l'appareil oculaire ou photographique, et de les installer sur des piliers séparés, entre lesquels le tuyau ordinaire serait supprimé et remplacé par un simple abri en toile. Quant aux très-intéressantes suggestions de M. Proctor (*Monthly Notices*) sur les moyens d'éviter, par un choix convenable des stations photographiques, l'influence des erreurs relatives à la direction des lignes de repère, je dirai que ces lignes ont toujours sur les épreuves, quand elles y sont projetées, une netteté admirable, bien supérieure à celle des bords mêmes du Soleil, et que les moyens déjà employés par M. Laussedat pour y rapporter par le calcul les lignes de repère céleste mettront les astronomes en état d'utiliser toutes les observations photographiques obtenues dans des stations quelconques. Restent les essais préalables que M. Laussedat recommande avec tant de raison : il n'est pas besoin de dire qu'ils sont déjà compris dans le programme des prévisions actuelles de la Commission.

RAPPORT

PRÉSENTÉ AU NOM DE LA COMMISSION DU PASSAGE DE VÉNUS

SUR LE

CHOIX DES STATIONS ET LE MATÉRIEL ASTRONOMIQUE

PAR

M. E. LAUGIER (1)

(Comité secret du 14 mars 1870).

(Commission composée de MM. Mathieu, Liouville, Le Verrier, E. Laugier, Faye, Delaunay, membres de la section d'astronomie; de MM. de Tessan, Pâris, Jurien de la Gravière, Dupuy de Lôme, d'Abbadie, Yvon Villarceau, membres de la section de géographie et navigation; et de M. le maréchal Vaillant.)

La Commission nommée pour préparer les instructions relatives à l'observation du passage de Vénus sur le Soleil le 8 décembre 1874, a décidé qu'elle présenterait d'abord

(1) Un rapport précédent, lu par M. E. Laugier au nom de la même Commission, dans le Comité secret du 28 février 1870, n'avait pas été déposé par lui au secrétariat de l'Institut. M. Laugier a été enlevé à la science le 5 avril 1872 : ce rapport n'a pu être retrouvé dans ses papiers.

à l'Académie un premier Rapport dans lequel on s'occuperait :

1° Du choix des stations ;

2° Du personnel qu'il serait convenable de diriger sur chacune d'elles ;

3° Du matériel astronomique proprement dit, ainsi que des dépenses nécessaires à l'acquisition de ce matériel; réservant ainsi, pour un second Rapport, l'étude des procédés d'observation et l'examen des questions qui s'y rattachent, parmi lesquelles figureront l'application de la photographie à la reproduction des diverses phases du phénomène, application qui exigera sans doute des expériences préparatoires.

Choix des stations et du personnel. — Il est indispensable de faire connaître dès à présent les pays avantageusement situés au point de vue purement astronomique, puisque l'Académie aura à compléter la Commission actuelle par l'adjonction de plusieurs Membres qui devront, conformément à la lettre du Ministre de l'Instruction publique, signaler dans le Rapport définitif les questions de physique du globe, d'histoire naturelle, etc., qui seraient susceptibles d'être utilement étudiées par des voyageurs spéciaux attachés aux différentes expéditions.

Ces pays se divisent en deux catégories. Dans la première, le Soleil reste sur l'horizon de la station pendant toute la durée du passage ; l'entrée et la sortie de la planète y sont toutes deux observables. Telles sont les cinq stations suivantes :

STATIONS.		Hauteur du Soleil à l'entrée	Hauteur du Soleil à la sortie	Différence de durée par rapport à YOKOHAMA (durée de $4^h 24^m,7$)	Coefficient de la parallaxe à l'entrée	Coefficient de la parallaxe à la sortie	
YOKOHAMA, ou un point de son parallèle situé sur la côte occidentale de la Chine.	Long. 137°,4 E. Lat. 35,6 N.	31°	12°	».	0,2	0,9	
PÉKIN.	Long. 144,1 E. Lat. 39,9 N.	20	21	0	0,3	0,7	
SAINT-PAUL et AMSTERDAM.	Long. 75,1 E. Lat. 37,8 S.	25	73	— 23^m	0,9	0,2	l'heure de la sortie est retardée par la parallaxe.
LA RÉUNION.	Long. 53,2 E. Lat. 20,9 S.	7	62	— 20^m	0,9	0,1	même effet.
NOUMÉA, Nouvelle-Calédonie	Long. 164,7 E. Lat. 22,16 S.	75	18	— 15^m	0,2	0,6	la sortie est accélérée par la parallaxe.

La station de la Nouvelle-Calédonie, située moins favorablement que les précédentes, a été choisie néanmoins, parce que la Marine impériale y entretient en permanence des officiers ou des ingénieurs, et que l'on trouvera facilement parmi eux des observateurs bien préparés. Pour les quatre premières stations, le personnel devrait se composer de deux astronomes, ou tout au moins de deux observateurs, qui seraient exercés pendant plusieurs mois aux observations astronomiques à l'Observatoire de Paris. En outre, deux aides seraient nécessaires pour les assister dans leurs opérations; ce qui ferait en tout 16 personnes, huit astronomes et huit aides.

Les stations de la seconde catégorie sont au nombre de quatre, savoir : Taïti et les îles Marquises, pour lesquelles le Soleil, sur l'horizon à l'entrée, est couché à la sortie; Mascate et Suez, pour lesquelles le Soleil est au contraire couché à l'entrée, et sur l'horizon à la sortie.

Le tableau ci-après renferme les détails relatifs à ces quatre stations.

STATIONS.	Hauteur du soleil au moment de l'observation	Coefficient de la parallaxe.	
Taïti	34°	0,6	L'entrée seule est observable. (L'heure de l'entrée est accélérée par l'effet de la parallaxe.)
Iles Marquises	23	0,7	id.
Mascate	38	0,7	La sortie seule est observable. (La sortie est retardée par la parallaxe).
Suez	18	0,9	id.

La Commission ne propose pas d'envoyer des observateurs aux stations de Taïti et des îles Marquises, parce que, comme pour la Nouvelle-Calédonie, on pourra profiter de la présence des officiers de marine qui font partie des états-majors de ces établissements français; elle pense toutefois qu'il serait nécessaire de prier le Ministre de la Marine de vouloir bien, s'il est possible, désigner à l'avance plusieurs de ces officiers, en vue de l'observation du passage de Vénus, afin de leur laisser le temps de s'y préparer avant leur départ.

Les observateurs des diverses stations, et principalement de Pékin, de Saint-Paul, de Taïti et des îles Marquises, seraient chargés d'observer aussi fréquemment que possible les passages de la Lune au méridien, pour en déduire ensuite la longitude exacte de leur observatoire, élément indispensable à la discussion des observations. Leur séjour devrait donc se prolonger pendant plusieurs lunaisons. Nous ajouterons que les longitudes de Yokohama, la Réunion, Nouméa et Mascate, ont été déterminées récemment

par des officiers de marine, à la demande du Bureau des longitudes.

Pour les stations de Mascate et de Suez, beaucoup moins éloignées de France que les précédentes, on trouvera sans doute des observateurs parmi des voyageurs bénévoles auxquels on fournirait au besoin les instruments et les instructions nécessaires.

Matériel astronomique. — Pour une des quatre stations principales où l'entrée et la sortie sont également observables, le matériel astronomique se composerait principalement des instruments ci-après désignés :

Deux lunettes de six pouces ($0^m,16$), montées chacune sur un pied parallactique adapté à la latitude de la station, avec micromètres, etc.	17 000$^{fr.}$
Une pendule sidérale à balancier de sapin	800
Montre marine de temps moyen	1 200
Compteur à arrêt	700
Cercle méridien portatif et accessoires	3 000
Cabane en bois avec travée méridienne	900
Baromètres, thermomètres, piles et relais	400
Total	24 000

Le matériel astronomique des quatre stations, Yokohama, Pékin, Saint-Paul et la Réunion, coûterait donc en tout 96 000 francs.

Dans chacune des cinq autres stations, une seule lunette équatoriale suffirait, ce qui réduirait à 15 500 fr. le prix du matériel de chacune ; et l'on aurait 80 000 fr. environ pour les cinq.

Ainsi, les dépenses pour les instruments d'astronomie s'élèveraient peut-être à 180 000 francs, mais ne dépasse-

raient certainement pas 200 000 francs; et il importe de faire remarquer que ce matériel considérable, créé à l'occasion du prochain passage de Vénus, servirait également pour le passage de 1882, et pourrait être utilisé dans l'intervalle, si le gouvernement se décidait à fonder en France plusieurs établissements astronomiques; car, avec un bon équatorial de six pouces, on peut entreprendre bien des observations délicates.

Il faut ajouter en outre à ces 200 000 francs la dépense que nécessiterait l'application de la photographie à la reproduction du phénomène. D'après des renseignements aussi précis que possible, le prix d'un appareil photohéliographique, avec ses accessoires, s'élèverait à peine à 7 000 francs, ce qui ferait 63 000 pour les neuf stations. On atteint donc en nombres ronds la somme de 270 000 fr. pour frais nécessaires à l'acquisition du matériel scientifique.

Mais ce n'est pas tout encore ; ainsi que nous l'avons dit plus haut, la Commission a pensé qu'avant de recommander l'adoption de tel ou tel système d'appareil photographique, il était indispensable d'entreprendre des expériences suivies, afin de se mettre définitivement d'accord sur la méthode qu'il conviendrait de suivre, pour obtenir des épreuves photographiées du phénomène se prêtant aux mesures micrométriques les plus exactes. Ces expériences et la construction d'un appareil modèle exigeront des dépenses qu'il est difficile de déterminer, quant à présent, d'une manière précise; mais on peut affirmer qu'une somme de 30 000 francs y suffirait très-amplement. Le crédit total à demander au Ministre de l'Instruction publique

monterait donc en définitive à 300 000 francs. Nous considérons ce chiffre comme un maximum.

Tout le monde sait que, lors du dernier passage de Vénus en 1769, les gouvernements firent pour cette observation des dépenses et des préparatifs immenses.

La France était représentée par MM. Le Gentil et Bougainville aux Indes, l'abbé Chappe en Californie, Pingré à l'île Saint-Domingue.

L'Angleterre, par MM. Dymond et Wales dans l'Amérique septentrionale, le capitaine Cook et l'astronome Green dans le Pacifique, Call à Madras, Wintrop à Cambridge, Smith en Pensylvanie, Wright à Québec, et le capitaine Helland près du fort Saint-Louis.

Par ordre de l'impératrice Catherine, l'Académie des sciences de Saint-Pétersbourg attira des astronomes de Genève et d'Allemagne, et fit faire à Paris un grand nombre d'instruments. Elle envoya en Laponie, Rumowski à Kola, Pictet à Oumba, et Mollet à Ponoï, et d'autres observateurs à Yakoutsk, à Astracan, à Gurief, à Orenbourg, etc. Chacun de ces observateurs était bien accompagné et muni du matériel nécessaire.

Le roi de Danemark envoya le P. Hell à l'île de Vhardus, au nord de la Laponie ; la Suède, onze astronomes en différents lieux.

Tous ne furent pas favorisés par le temps, mais grâce à ce généreux élan des nations civilisées, on a pu réunir plus de vingt-cinq observations du passage de Vénus sur le Soleil en 1769.

Pour le passage de Vénus qui doit avoir lieu en 1874, les préparatifs ne sont pas moindres qu'en 1769.

L'Angleterre paraît choisir pour lieux d'observations Alexandrie, plusieurs points dans la Nouvelle-Zélande, les îles Sandwich, les îles Kerguelen, Maurice et Rodrigues dans l'Océan austral indien. On a même projeté une reconnaissance aux environs des terres d'Enderby et de Victoria, par 66° et 72° de latitude sud, pour examiner la possibilité d'y établir une station astronomique.

La Russie enverra ses astronomes dans la Sibérie, la Mandchourie, et peut-être même jusque dans les îles Aleutiennes à l'extrémité de l'Amérique russe.

Enfin l'on peut être assuré que la Prusse et les États-Unis ne resteront pas en dehors de ce grand mouvement scientifique.

La commission a fait connaître à l'Académie les stations qu'elle propose à son choix. Sauf Amsterdam et Saint-Paul, elles sont toutes habitées, et elles offrent conséquemment toutes les ressources nécessaires à la vie; en outre, elles sont en communication plus ou moins régulière avec les pays civilisés. Il semble donc que les expéditions n'auront pas à surmonter de grandes difficultés dans leur installation.

La station des îles Amsterdam et Saint-Paul fait seule exception. Perdus au milieu de l'Océan indien austral, c'est tout au plus si ces deux îlots abandonnés se trouvent sur une route parcourue par les navires; on sait, en effet, que pour se rendre du cap de Bonne-Espérance dans l'Océan Pacifique, en longeant l'extrémité Est de la côte sud de l'Australie, les navigateurs s'éloignent le plus souvent du

parallèle des îles Saint-Paul et Amsterdam, pour suivre autant que possible l'arc de grand cercle qui va du Cap à Melbourne, passant ainsi non loin des îles Marion, Crozet, Kerguelen et Macdonald. Il n'y a guère que les navires qui partent de Maurice et de la Réunion pour se rendre en Australie, qui passent en vue de Saint-Paul et Amsterdam. Malgré ces inconvénients réels, cette station a été choisie, parce qu'elle est très-favorablement située pour l'observation astronomique. A part l'eau, qu'on y trouve d'assez bonne qualité et en quantité suffisante, l'expédition qui devra y séjourner emportera donc avec elle tout ce dont elle aura besoin, tout jusqu'au bois destiné à la construction des habitations; toutefois, on trouve à Saint-Paul une carrière de pierres plates qu'on pourrait utiliser pour des constructions passagères. L'île de la Réunion serait le centre de ravitaillement; la durée du voyage de la Réunion à Saint-Paul est d'environ dix-huit jours pour aller; quinze à seize jours suffisent pour le retour.

Pendant la belle saison, c'est-à-dire de novembre au milieu d'avril, sauf quelques coups de vent du nord, le temps est assez beau; mais, pour plus de sûreté, il conviendrait d'établir l'observatoire sur le plateau qui est situé au sommet de l'île Saint-Paul, à 270 mètres au-dessus du niveau de la mer, car il règne parfois, dans les parages des deux îlots, des brumes assez épaisses pour gêner les observateurs qui resteraient dans les parties basses. A Saint-Paul, où il existe une baie toujours praticable pendant la belle saison, le débarquement serait facile et les embarcations trouveraient un abri sûr, avantage qui ne se rencontre pas à Amsterdam, et qui semble devoir faire préférer Saint-

Paul, malgré la grande élévation (700 mètres environ) du plateau d'Amsterdam. Au reste, les îles Crozet et Kerguelen seraient aussi de très-bonnes stations pour l'observation du passage de Vénus, préférables peut-être à certains égards, à Saint-Paul; il en serait de même des îles Macdonald, sur lesquelles nous n'avons aucun renseignement, et que leur position (1), plus favorable encore que celle des îles Kerguelen, recommande particulièrement. L'Angleterre, paraît-il, doit envoyer une expédition aux îles Kerguelen.

Nous passerons rapidement sur les autres stations. Le petit village de Yokohama, naguère entouré de marais, formait en quelque sorte le faubourg de Yeddo; il en est aujourd'hui le port. Les marais ont été comblés, on a conquis sur la mer un vaste espace, sur lequel de nombreux magasins se sont élevés, et Yoko-hama est devenu une ville maritime de quinze à vingt mille ames, où la plupart des nations commerçantes ont des consuls. Les hivers y sont très-froids; la saison des pluies ne commence qu'en janvier et février. Les mois de décembre y sont assez souvent beaux.

Pour ce qui concerne la station de Pékin, le voyage est très-facile jusqu'à Tien-tsin, situé à l'embouchure de la rivière Peïho, au fond du golfe Pe-che-ly, pourvu qu'on y arrive avant les gelées, c'est-à-dire en octobre; car, en hiver, les bords du golfe sont couverts de glaces épaisses. Mais de Tien-tsin à Pékin le voyage est moins facile. Les

---

(1) Macdonald, Long. 70° E., Lat. 52°,5 S.

hivers sont très-rigoureux à Pékin, et le ciel, surtout pendant les grands froids, est le plus souvent découvert.

Aux îles Marquises et à Taïti, les circonstances météorologiques paraissent favorables. Sauf quelques orages peu fréquents, le ciel est ordinairement beau pendant le mois de décembre.

Il eût été sans doute très-utile de donner des indications précises sur le climat de chaque station, principalement pour l'époque de l'année où le phénomène doit être observé; mais comme tous les détails puisés aux meilleures sources laissent encore beaucoup de vague, il est absolument nécessaire que les observateurs se rendent dans les stations assez longtemps d'avance, afin de s'y renseigner le mieux possible; non pas, bien entendu, pour changer de station en cas de renseignements défavorables, mais pour choisir à proximité un emplacement convenable pour leur observatoire. Peut-être en effet suffirait-il, dans certains cas, de s'éloigner à une petite distance de la station choisie, pour rencontrer des chances de beau temps. Il est juste de laisser, à cet égard, une certaine latitude aux chefs des diverses expéditions; ils trouveront dans la carte du passage de Vénus sur le Soleil le 8 décembre 1874, publiée par le Bureau des longitudes, toutes les indications nécessaires, dans le cas où ils se verraient contraints de changer de position.

Conclusions. — La Commission propose à l'Académie :

De demander au Ministre de l'Instruction publique une somme de 300 000 fr., pour l'acquisition de tout le maté-

riel scientifique, destiné à l'observation du passage de Vénus sur le Soleil en 1874; ce crédit pourrait être réparti sur trois exercices;

De prier le Ministre de la Marine et des Colonies :

1° De désigner un certain nombre d'officiers, au moins un par station, qui seraient détachés, en 1874, aux stations de la Nouvelle Calédonie, de Taïti, des îles Marquises, de Bourbon, de la Chine et du Japon, et qui viendraient à Paris, quelques mois à l'avance, afin de s'y exercer aux observations astronomiques et photographiques;

2° De charger les commandants des diverses stations de fournir tous les renseignements nécessaires, en particulier au double point de vue de la facilité de l'installation et du climat, pendant les mois de novembre, décembre, janvier, février, mars, pour les points désignés ci-après :

Yokohama; Saint-Paul et Amsterdam; Tche-fou; les îles Macdonald; Pékin; la Nouvelle-Calédonie (Nouméa); Shang-Haï; Taïti; les îles Marquises.

RAPPORT

FAIT AU BUREAU DES LONGITUDES

PAR

LA COMMISSION CHARGÉE D'EXAMINER LES QUESTIONS RELATIVES

A L'OBSERVATION DU

PASSAGE DE VÉNUS SUR LE SOLEIL

DU 8 DÉCEMBRE 1874

PAR

M. PUISEUX.

Commissaires : MM. l'amiral PARIS, FAYE, E. LAUGIER, Y. VILLARCEAU, PUISEUX *rapporteur.*

(Extrait des *Additions* à la *Connaissance des temps* pour 1871.) (1).

Les passages de Vénus observés en 1761 et 1769 n'ont pas fait connaître la parallaxe du Soleil avec toute la précision sur laquelle on avait cru pouvoir compter ; mais on peut espérer qu'au prochain passage les Astronomes, instruits par l'expérience de leurs devanciers, sauront se met-

---

(1) L'auteur a corrigé, pour cette réimpression, quelques erreurs de calcul qui avaient été commises dans la Note imprimée en 1871, et qu'il avait signalées lui-même dans une Note rectificative qui fait partie des *Additions* à la *Connaissance des temps* pour 1872.

tre en garde contre les causes d'erreur qui ont vicié les observations du dernier siècle. Pour que ce but soit atteint, il importe que les diverses questions qui se rattachent au sujet aient été mûrement examinées : le choix des lieux où les observateurs iront s'établir, les qualités des instruments dont ils auront à se munir, la manière dont ils observeront les contacts des deux astres, tout cela doit être l'objet d'études approfondies, si l'on ne veut pas s'exposer à de nouvelles déceptions.

Fidèle à ses traditions et désireux de contribuer encore en cette circonstance aux progrès de l'Astronomie, le Bureau des Longitudes s'est vivement préocupé des problèmes que soulève l'observation du passage de 1874, et une Commission prise dans son sein a été spécialement chargée d'en préparer la solution.

La Commission s'est d'abord occupée du choix des lieux d'observation, et c'est le résultat de ses recherches à cet égard qu'elle présente aujourd'hui au Bureau. Les calculs numériques effectués par l'un d'entre nous montrent que la méthode de Halley, dans laquelle on se sert des durées des passages observés en deux lieux différents, pourra être appliquée avantageusement. Les plus longs passages se verront dans le nord-est de l'Asie, et, en laissant de côté la Sibérie, qui, au mois de décembre, ne sera guère accessible qu'aux Astronomes russes, on peut désigner comme stations convenables Yeddo ou le port de Yokohama qui en est voisin, Pékin, Tien-Tsin et Shanghaï. De ces villes, Shanghaï est celle où l'on se rendrait le plus aisément ; mais le climat paraît en être assez défavorable dans la saison où le phénomène doit se produire. Yokohama

offre à peu près les mêmes facilités d'accès et d'installation; les circonstances atmosphériques semblent y être meilleures; de plus, c'est un des points fondamentaux dont la longitude doit être prochainement déterminée par les officiers de la Marine impériale sur la demande du Bureau. Ainsi, quand même l'état du ciel n'y laisserait voir que le commencement ou que la fin du passage, l'observation pourrait encore être utilisée pour l'application de la méthode de Delisle. On sait, en effet, que, dans cette méthode on se sert des heures d'entrée seulement, ou des heures de sortie seulement, mais que les longitudes des lieux d'observation doivent être connues très-exactement. D'après cela, la station de Yokohama paraît la meilleure qu'on puisse indiquer dans cette région; il serait à souhaiter cependant que le phénomène fût aussi observé soit à Pékin, soit à Tien-Tsin, le Soleil devant y être, au moment de la sortie, plus élevé qu'au Japon.

Dans les régions australes où se verront les passages de courte durée, après les Terres d'Enderby et Victoria, qui sont peu accessibles, l'île de Kerguélen est un des points les mieux situés; les Anglais ont l'intention de s'y établir. Les îles Crozet, placées plus à l'ouest, auraient le Soleil un peu bas au commencement du passage; les îles Macdonald, au contraire, sont, au point de vue astronomique, un peu plus avantageuses que Kerguélen elle-même; mais elles sont peu connues, et les rares navigateurs qui ont passé dans le voisinage se bornent à dire qu'elles leur ont paru couvertes de neige. En attendant qu'on ait de plus amples renseignements à ce sujet, nous appellerons de préférence l'attention du Bureau sur le groupe des îles Saint-Paul et

Amsterdâm : la durée du passage y est, à la vérité, plus grande de 2 minutes qu'à Kerguélen ; mais on trouve à Saint-Paul des habitants, des ressources alimentaires et un abri pour les vaisseaux. Les navires de l'État qui font tous les six mois le trajet de la Réunion à la Nouvelle-Calédonie passent tout auprès et y déposeraient aisément le personnel et le matériel d'une mission scientifique.

Entre les durées du passage au Japon, d'une part, et, d'autre part, aux îles Saint-Paul et Amsterdam, la différence doit s'élever à 23 minutes environ : si donc les circonstances atmosphériques permettent d'y observer et l'entrée et la sortie, les observations faites dans ces deux régions fourniront d'excellents éléments pour la détermination de la parallaxe. On n'aurait pas besoin, dans ce cas, de connaître avec une extrême précision les longitudes des stations; mais, comme l'entrée ou la sortie peut être inobservable dans l'une ou dans l'autre et qu'alors on serait obligé de renoncer à la méthode de Halley, l'Astronome établi à Saint-Paul devra y séjourner pendant le temps nécessaire pour déterminer exactement la longitude de cette île, à moins que cette opération n'ait été exécutée antérieurement.

L'incertitude où l'on est à l'avance sur la possibilité d'appliquer la méthode de Halley nous oblige à examiner aussi quelles stations se prêteront le mieux à l'application de la méthode de Delisle, dans laquelle on fait usage de la différence des heures d'entrée ou des heures de sortie observées en deux points du globe. La précision du résultat dépend de la grandeur de cette différence, et il

conviendra que des observateurs aillent s'établir dans des localités choisies de façon qu'elle soit aussi grande que possible. Pour toutes ces localités, d'ailleurs, la détermination exacte des longitudes sera indispensable, et, lorsqu'elle n'aura pas été effectuée d'avance, les Astronomes qui s'y rendront devront se munir des instruments nécessaires pour cette opération.

Au point de vue de la différence des heures d'*entrée*, la combinaison la plus avantageuse est celle des îles Sandwich et de l'île de Kerguélen; la différence correspondante est de $20^m,8$. Les Anglais se proposant d'occuper ces deux points, nous pouvons adopter, avec l'île Saint-Paul déjà choisie à un autre point de vue, l'établissement français de Noukahiva dans les Marquises : la différence des heures d'entrée entre Saint-Paul et les Marquises sera de 17 minutes environ. La présence à Noukahiva d'un poste français, de missionnaires et de sœurs de charité y rendrait l'installation facile : les bâtiments qui composent la station navale de Taïti pourraient y transporter une expédition scientifique et la ravitailler au besoin.

Du reste, Taïti elle-même serait encore une station assez convenable; la différence des heures d'entrée entre cette île et Saint-Paul sera en effet de près de 16 minutes. Les transports de la Marine impériale, qui vont régulièrement de la Réunion à la Nouvelle-Calédonie, opèrent leur retour en France par Taïti : on aurait donc toutes les facilités désirables pour le voyage, et, comme le Gouverneur de nos possessions en Océanie y a sa résidence, il n'y a pas de doute qu'on ne puisse s'y installer dans les meilleures conditions.

La plus grande différence entre les heures de sortie ($21^m,4$) serait donnée par Tobolsk et la Terre Victoria. A Tobolsk, le Soleil n'aura que 7 ou 8 degrés de hauteur au moment de l'observation. Quant à la Terre Victoria, qui est par 72 degrés de latitude australe, on ne s'y établirait sans doute qu'avec beaucoup de difficulté. Nos voisins d'outre-Manche ne renoncent pas cependant à y envoyer une expédition.

Laissant de côté ces stations extrêmes, il nous a paru que, dans la région des sorties tardives, on pourrait, au lieu de Tobolsk, adopter Suez ou Mascate : à Suez, la sortie est plus tardive qu'à Mascate de $0^m,7$; mais à Mascate on aura le Soleil plus élevé, le climat est plus favorable, et en outre cette ville est un des points dont la longitude a été déterminée sur la demande du Bureau. D'ailleurs, l'envoi d'un Astronome à Mascate n'empêcherait pas que le phénomène fût également observé à Suez, où il est si aisé de se rendre aujourd'hui.

Du côté des sorties hâtives, la Nouvelle-Zélande et les îles voisines se présentent en première ligne après la Terre Victoria ; ces territoires appartiennent à l'Angleterre, qui y enverra vraisemblablement des observateurs. La colonie française de la Nouvelle-Calédonie est encore assez favorablement située (15 minutes de différence avec Mascate), et le Bureau pourrait recommander cette dernière île comme une station convenable. Nous avons déjà dit que des bâtiments de la Marine impériale s'y rendent deux fois par an : nul doute qu'à Nouméa (ancien Fort-de-France) on ne trouvât une bonne installation.

En résumé, et sauf de plus amples renseignements, la

Commission propose au Bureau des Longitudes de désigner les îles Saint-Paul et Amsterdam, Yokohama, Noukahiva (ou Taïti), Nouméa, Mascate et Suez comme les points où il est particulièrement désirable que des observateurs soient envoyés par les soins du Gouvernement (1).

Les conclusions de ce Rapport sont mises aux voix et adoptées par le Bureau des Longitudes.

---

(1) La plupart des documents géographiques dont nous avons eu besoin pour ce travail nous ont été fournis par l'administration du Dépôt de la Marine, qui, en outre, a fait exécuter, d'après les données fournies par la Commission, une carte indiquant les circonstances du passage pour les diverses régions du globe.

NOTE

SUR LA

DÉTERMINATION DE LA PARALLAXE DU SOLEIL

PAR L'OBSERVATION DU PASSAGE DE VÉNUS SUR CET ASTRE
EN 1874,

PAR

M. PUISEUX.

(Extrait des *Additions* à la *Connaissance des temps* pour 1871.)

Il y a, comme on le sait, deux méthodes différentes pour déduire la parallaxe du Soleil de l'observation du passage de Vénus sur cet astre. Dans l'une, on fait usage de la différence des durées du passage observées dans deux stations qui doivent être choisies de façon que cette différence soit aussi grande que possible; c'est la méthode de Halley. Dans l'autre, appelée *méthode de Delisle*, on se sert de la différence des heures auxquelles Vénus a paru entrer sur le Soleil dans les deux stations, ou de la différence des

heures auxquelles elle a paru en sortir; et, dans ce cas, il convient de choisir les lieux d'observation de manière que la différence des heures d'entrée ou celle des heures de sortie soit la plus grande possible. Dans l'intéressante Notice que M. Airy a publiée récemment sur ce sujet (*Monthly Notices*, décembre 1868), l'illustre astronome de Greenwich paraît croire que le prochain passage de Vénus, celui du 8 décembre 1874, sera peu favorable à l'application de la méthode de Halley. Des calculs terminés depuis longtemps (1) me font penser au contraire qu'elle pourra être employée avec avantage. Le Bureau des Longitudes, dans le sein duquel les questions relatives au passage de Vénus ont déjà été agitées à plusieurs reprises, a pensé qu'il ne serait pas inutile de publier les résultats de mes recherches.

Circonstances du phénomène pour un observateur supposé au centre de la Terre.

Le calcul a été fait à l'aide des Tables du Soleil et de Vénus de M. Le Verrier, avec toute la précision que ces Tables comportent. En adoptant 32′ 0″,0 pour le diamètre

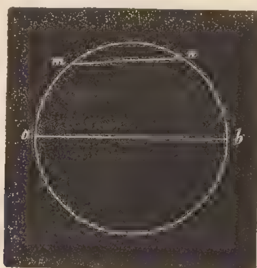
(1) Ces calculs ont été faits, en 1866, pour une Commission que S. Exc. le Ministre de l'Instruction publique avait chargée, sous la présidence de M. l'amiral Jurien de la Gravière, d'examiner les mesures à prendre pour faciliter aux Astronomes français l'observation du prochain passage de Vénus et faire profiter les sciences physiques et naturelles des expéditions qui pourraient être entreprises à cette occasion.

apparent du Soleil à la distance moyenne de cet astre à la Terre, on a trouvé :

1874 décembre 8.

Entrée du *centre* de Vénus sur le disque du Soleil (1).	$14^h\ 10^m,15$	temps moyen de Paris.
Sortie du *centre* de Vénus.	$18^h\ 21^m,57$	—
Durée du passage du *centre*.	$4^h\ 11^m,42$	—

Dans la figure ci-après, le cercle *amnb* représente le disque du Soleil ; *ab* est le diamètre de ce disque situé dans



le plan de l'écliptique, *a* étant l'extrémité orientale ; *mn* est la ligne sensiblement droite que le centre de Vénus décrit

(1) Ce que l'on observe en réalité, ce sont les instants auxquels le *bord* de Vénus touche intérieurement ou extérieurement celui du Soleil ; mais les heures de ces contacts ne diffèrent de celles de l'entrée et de la sortie du *centre* que de quantités qui sont à peu près les mêmes partout et auxquelles on peut se dispenser d'avoir égard, quand on veut seulement comparer les diverses stations au point de vue des avantages qu'elles peuvent offrir. Il ne sera donc question dans ce qui va suivre que du passage du *centre* de Vénus sur le Soleil.

pendant le passage et qui est parcourue dans le sens *mn*; les arcs *am* et *an* sont respectivement de 48° 52′ et de 112° 54′.

Circonstances du phénomène pour un observateur placé à la surface de la Terre.

Pour pouvoir calculer les heures d'entrée et de sortie relatives à un lieu particulier, il faut adopter pour la parallaxe solaire une valeur numérique déterminée ; je l'ai supposée de 8″,90 à la distance moyenne du Soleil à la Terre. Mais, par cela même que ce nombre est encore incertain, il n'est pas utile d'apporter une extrême précision dans les calculs où il intervient. En négligeant l'aplatissement de la Terre et quelques autres petites quantités, on aura les formules approchées qui suivent, pour représenter les circonstances du passage du centre de Vénus sur le disque du Soleil, telles qu'elles seront vues d'un point M de la surface de la Terre :

Heure de l'entrée. . . . $14^h\,10^m,15 + (0,8498) \cos \Lambda \cos L + (0,7102) \cos \Lambda \sin L - (0,8553) \sin \Lambda$.

Heure de la sortie. . . . $18^h\,21^m,57 + (0,5872) \cos \Lambda \cos L + (0,5634) \cos \Lambda \sin L + (0,9989) \sin \Lambda$.

Durée du passage. . . . $4^h\,11^m,42 - (0,5066) \cos \Lambda \cos L - (0,1677) \cos \Lambda \sin L + (1,2340) \sin \Lambda$.

Λ est la latitude du lieu prise positivement ou négativement, suivant qu'elle est boréale ou australe ; L est la lon-

gitude, positive si elle est orientale, négative si elle est occidentale : les nombres entre parenthèses sont les logarithmes des coefficients de cos λ cos L, cos λ sin L, sin λ, ces coefficients étant exprimés en minutes de temps. Les heures d'entrée et de sortie sont toujours données en temps moyen de Paris.

On peut écrire ces formules d'une autre manière, qui met en évidence leur signification géométrique. Appelons A, A′, A″ les trois points du globe dont les coordonnées géographiques ont les valeurs suivantes :

	Longitude.	Latitude.
A.......	155°23′,0 O.	78°21′,4 N.
A′......	144° 3′,5 O.	39°20′,9 N.
A″......	136°34′,4 O.	61°54′,8 S.

Les expressions qui précèdent pourront être remplacées par les suivantes, dans lesquelles AM, A′M, A″M désignent les arcs de grand cercle qui, sur la surface de la Terre supposée sphérique, joignent le point M aux trois points A, A′, A″ :

Heure de l'entrée.......	$14^h 10^m,2 - 11^m,3 \cos A'M$.
Heure de la sortie.......	$18^h 21^m,6 - 11^m,3 \cos A''M$.
Durée du passage.......	$4^h 11^m,4 + 17^m,5 \cos AM$.

Nommons B, B′, B″ les points qui sont antipodes respectivement de A, A′, A″. On voit que la durée du passage aura au point A sa valeur maximum, $4^h 28^m,9$, et au point B sa valeur minimum $3^h 53^m,9$, inférieure de $35^m,0$ au maximum : elle sera constante le long de chacun des petits cercles qui ont pour pôles les points A et B.

Pareillement, c'est au point A′ que répondra l'entrée la

plus hâtive, à $13^h58^m,9$, et c'est au point B′ que répondra la plus tardive, à $14^h21^m,5$: différence, $22^m,6$. Pour tous les points d'un petit cercle quelconque ayant les points A′ et B′ pour pôles, l'entrée sera vue à la même heure.

Enfin, la sortie la plus hâtive répondra au point A″, à $18^h10^m,3$, et la plus tardive au point B″, à $18^h32^m,9$: différence, $22^m,6$. La sortie sera vue à la même heure tout le long d'un petit cercle quelconque ayant les points A″ et B″ pour pôles.

Si le Soleil était visible à la fois de tous les points de la surface de la Terre et si cette surface était partout solide, c'est aux deux points opposés A et B qu'il faudrait aller s'établir pour observer des passages dont les durées fussent aussi différentes que possible, et on se trouverait ainsi dans les conditions les plus favorables à l'emploi de la méthode de Halley. Mais le choix des stations propres à l'application de cette méthode doit satisfaire à une double condition : il faut d'abord qu'elles soient sur la terre ferme et non pas en mer ; il est nécessaire en outre qu'il y fasse jour au moment de l'entrée et à celui de la sortie.

Sur un planisphère de Mercator annexé à cette Note, j'ai tracé le grand cercle formé par tous les points qui, le 8 décembre 1874, ont le Soleil à leur horizon à $14^h10^m,15$, et aussi le grand cercle formé par les points qui, le même jour, ont le Soleil à leur horizon à $18^h21^m,6$. Ces deux grands cercles divisent la sphère en quatre fuseaux : dans un de ces fuseaux, teinté en bleu sur la carte, le Soleil est couché, soit au moment de l'entrée, soit à celui de la sortie ; dans un autre, teinté en jaune, le Soleil est levé à l'entrée et couché à la sortie ; dans un troisième, teinté en vert, le

Soleil est couché à l'entrée et levé à la sortie ; enfin, dans le quatrième, le Soleil est sur l'horizon à l'entrée et à la sortie.

Ce dernier fuseau est lui-même partagé en deux parties très-inégales par le parallèle mené dans l'hémisphère austral tangentiellement aux deux grands cercles (1). Dans la plus grande partie qu'on a laissée en blanc sur la carte, le Soleil reste sur l'horizon pendant tout le passage ; mais dans la plus petite, qui est coloriée en rouge, le Soleil se couche après l'entrée et se lève avant la sortie.

Pour pouvoir observer des passages complets, il faut donc rester dans le fuseau blanc et rouge de la carte, en évitant de se placer près des bords, afin de n'avoir pas le Soleil trop bas au moment de l'observation. Et, dans cette région, on devra chercher, soit sur les continents, soit dans les îles, des stations qui soient aussi voisines que possible les unes du point A, les autres du point B.

Un coup d'œil jeté sur la carte montre que les plus longs passages pourront être observés sur une ligne qui, partant du lac Baïkal en Sibérie, se dirige au sud-est vers le Japon. On peut compter sur les astronomes russes pour les observations à faire près du lac Baïkal, et je crois savoir qu'on a reçu de M. Struve des assurances positives à cet égard. Mais Yeddo au Japon (2), et Pékin, Tien-Tsin ou même

---

(1) On voit qu'on fait abstraction de la petite variation qu'éprouve la déclinaison du Soleil pendant la durée du passage ; en effet, ce n'est qu'en la négligeant qu'on peut dire que les deux grands cercles sont tangents à un même parallèle.

(2) Le port de Yokohoma, voisin de Yeddo, est un des points fondamentaux dont le Bureau des Longitudes a entrepris de déterminer la position avec le concours des officiers de la Marine impériale.

Shanghaï en Chine, seraient encore des stations fort convenables ; dans les trois dernières on aurait l'avantage d'avoir, soit à l'entrée, soit à la sortie, le Soleil à plus de 20 degrés au-dessus de l'horizon. (*Voir* le premier tableau à la fin de cette Note.)

Dans l'hémisphère sud, la terre la plus rapprochée du point B est, parmi celles que nous connaissons, la terre australe dite d'*Enderby*, par 66 degrés de latitude ; mais il est bien douteux qu'on puisse y aborder et s'y installer. Vient ensuite, par 72 degrés de latitude, la Terre Victoria, dont l'accès présente des difficultés du même genre ; cependant les Anglais songent à s'y établir, aussi bien qu'à l'île de Kerguélen, où la durée du passage est plus longue de $0^m,7$, mais qui, située à 49 degrés seulement de l'Équateur, est beaucoup plus abordable. Les îles Crozet et Macdonald auront des passages à peu près de même durée qu'à Kerguélen ; mais aux îles Crozet le Soleil sera trop bas à l'entrée : les îles Macdonald sont mieux situées, j'ignore s'il est possible d'y séjourner. Aux îles Saint-Paul et Amsterdam, la durée du passage sera plus longue qu'à Kerguélen de $2^m,4$: la première est habitée, et l'on trouverait sans doute dans l'une ou dans l'autre une station convenable. On peut citer ensuite Hobart Town, Melbourne, Sydney, villes qui sont pourvues d'observatoires, et la Nouvelle-Zélande, surtout dans sa partie sud. Les lignes d'égale durée du passage qui sont tracées sur la carte et qui répondent aux valeurs 30 degrés, 60 degrés, 90 degrés, 120 degrés et 150 degrés de l'arc AM, permettent d'estimer à vue l'avantage plus ou moins grand qu'il y aura à combiner deux stations quelconques.

En observant au lac Baïkal d'une part et à la Terre d'Enderby de l'autre, on aurait une différence de durée de plus de 30 minutes ; mais, même en laissant de côté ces localités peu abordables et en se bornant à comparer, par exemple, Pékin ou Yeddo avec Kerguélen, on trouve encore une différence de 25 minutes, tandis que les différences des heures d'entrée ou de sortie ne dépasseront nulle part 22 minutes. Je ne vois donc pas pourquoi l'on renoncerait à observer des passages complets et à appliquer à la détermination de la parallaxe la méthode de Halley, qui a le grand avantage de ne pas exiger une connaissance très-précise des longitudes des stations.

Mais mille circonstances diverses peuvent empêcher d'observer, dans chaque localité particulière, soit une des phases du phénomène, soit toutes les deux, et on ne saurait trop multiplier les chances d'obtenir des observations qui puissent être utilisées. Je suis donc loin de penser qu'on doive négliger les stations qui se prêteraient à l'application de la méthode de Delisle. Relativement au choix de ces stations, M. Airy a donné dans l'article cité des indications détaillées auxquelles je n'aurais rien d'important à ajouter. Je ferai seulement remarquer que la carte jointe à la présente Note met en évidence les points essentiels de cette discussion. On y a tracé, d'une part, les lignes qui répondent aux valeurs 30 degrés et 150 degrés de l'arc A'M (heures d'entrée : $14^h 0^m,5$ et $14^h 19^m 9$), et, d'autre part, les lignes qui répondent aux valeurs 30 degrés et 150 degrés de l'arc A''M (heures de sortie : $18^h 11^m,9$ et $18^h 31^m,3$). A l'inspection de ces lignes, on aperçoit que les îles Kerguélen, Macdonald, Saint-Paul et Amsterdam conviendront

pour l'observation des entrées hâtives. La Réunion, l'île de France, l'île Rodrigues, ayant le Soleil plus bas, seraient moins favorablement situées. On voit également que les îles Sandwich seront la meilleure station pour observer une entrée tardive : viendraient ensuite les Marquises et Taïti. Entre Kerguélen et les îles Sandwich, la différence des heures d'entrée s'élèvera à $20^m,8$.

Quant aux sorties, la carte montre que les plus hâtives s'observeront dans la Terre Victoria d'abord, puis dans les petites îles Auckland et Chatam, situées au sud-est de la Nouvelle-Zélande. La ville d'Auckland, dans la Nouvelle-Zélande même, sera presque aussi favorable ; Hobart Town, Melbourne, Sydney, l'île de Norfolk, la Nouvelle-Calédonie le seront un peu moins. Enfin, comme stations convenables pour les sorties tardives, on peut indiquer les localités voisines de la ligne qui irait de Tobolsk à Suez. Entre Tobolsk et Auckland (Nouvelle-Zélande), la différence des heures de sortie monte à $19^m,7$; mais à Tobolsk le Soleil serait à peine à 8 degrés au-dessus de l'horizon. A Suez, on aurait le Soleil plus élevé et la différence avec Auckland serait encore de 18 minutes. Mascate, dont la longitude vient d'être déterminée par la Marine impériale à la demande du Bureau des Longitudes, aurait le Soleil plus haut encore avec une sortie presque aussi tardive. En substituant la Terre Victoria à Auckland comme station sud, on accroîtrait de $1^m,7$ la différence des heures de sortie.

Il n'est pas inutile d'ajouter que le temps nécessaire pour que la distance des centres de Vénus et du Soleil diminue de $0'',1$ à l'entrée ou croisse de $0'',1$ à la sortie,

variera depuis $2^s,5$ (lac Baïkal) jusqu'à $3^s,0$ (Terre d'Enderby).

Les nombres inscrits dans les tableaux ci-après serviront à apprécier les avantages respectifs des diverses stations qui y figurent et des combinaisons qu'on en pourra faire.

LOCALITÉS.	LONGITUDE.	LATITUDE.	HEURE de l'entrée en temps moyen de Paris.	HEURE de la sortie en temps moyen de Paris.	HEURE de l'entrée en temps vrai du lieu.	HEURE de la sortie en temps vrai du lieu.	HAUTEUR du Soleil à l'entrée.	
							à l'entrée.	à la sortie
	°	°	h m	h m	h m	h m	°	°
Sibérie (1)............	117,3 E.	55,0 N.	14. 5,0	18.30,6	22. 1,7	2.27,3	8,5	6,7
Mandchourie..........	130,0 E.	46,0 N.	14. 4,6	18.29,0	22.52,2	3.16,6	19,7	9,0
Yeddo................	137,4 E.	35,6 N.	14. 4,6	18.27,1	23.21,8	3.44,3	31,1	11,9
Pékin................	114,1 E.	39,9 N.	14. 6,9	18.29,3	21.51,0	2.13,4	20,7	20,7
Shanghaï.............	119,2 E.	31,3 N.	14. 7,3	18 27,9	22.11,5	2 32,1	30,4	25,6
Nouméa...............	164,1 E.	22,3 S.	14. 7,9	18.15,3	1.11,9	5.19,3	73,0	16,0
Auckland (N.-Z.).......	172,4 E.	36,9 S.	14. 9,4	18.12,9	1.46,8	5.50,3	63,1	13,7
Hobart Town..........	145,0 E.	42,9 S.	14.12,9	18.14,0	0. 0,5	4. 1,6	69,9	35,3
Ile Amsterdam.........	75,1 E.	37,8 S.	14.19,9	18.19,0	19.27,8	23.26,9	28,7	73,7
Ile Kerguélen..........	67,2 E.	49,3 S.	14.20,5	18.17,2	18.56,8	22.53,5	24,5	60,9
Iles Macdonald.........	70,0 E.	52,5 S.	14.20,2	18.16,6	19. 7,8	23. 4,2	26,6	58,9
Terre Victoria.........	167,0 E.	72,0 S.	14.15,2	18.11,2	1.30,8	5.26,8	39,3	23,4
Terre d'Enderby........	48,0 E.	66,5 S.	14.20,1	18.14,5	17.39,7	21.34,1	17,9	41,2
Tobolsk...............	65,8 E.	58,2 N.	»	18.32,6	»	23. 3,3	»	7,8
Suez..................	36,2 E.	30,0 N.	»	18.31,0	»	20.39,3	»	16,9
Mascate...............	56,3 E.	23,6 N.	»	18.30,3	»	22.22,9	»	36,9
Hawaï (îles Sandwich)...	158,0 O.	20,0 N.	13.59,7	»	3.35,3	»	20,3	»
Noukahiva (î. Marquises).	142,4 O.	8,9 S.	14. 2,6	»	4.40,4	»	20,6	»
Taïti (îles de la Société)..	151,8 O.	17,5 S.	14. 4,0	»	4. 4,3	»	31,4	»

(1) Les dénominations de Sibérie et de Mandchourie désignent des points de ces deux pays qui ne répondent pas à des villes connues et qui sont définis par leurs longitudes et leurs latitudes.

Dans le tableau suivant, les diverses localités sont rangées ou dans l'ordre des durées du passage, ou dans celui des heures d'entrée, ou dans celui des heures de sortie.

LOCALITÉS.	DURÉE du PASSAGE.	LOCALITÉS.	HEURE de l'entrée temps moy. de Paris.	LOCALITÉS.	HEURE de la sortie temps moy. de Paris.
	h m		h m		h m
Terre d'Enderby.....	3.54,4	Hawaï	13.59,7	Terre Victoria.......	18.11,2
Terre Victoria.......	3.56,0	Noukahiva	14. 2,6	Auckland (N.-Z.).....	18 12,9
Iles Macdonald.......	3.56,3	Taïti....	14. 4,0	Hobart Town..	18.14,0
Ile Kerguélen........	3.56,7	Mandchourie........	14. 4,6	Terre d'Enderby.....	18.14,5
Ile Amsterdam	3.59,1	Yeddo.............	14. 4,6	Nouméa.	18.15,3
Hobart Town........	4. 1,1	Sibérie............	14. 5,0	Iles Macdonald.	18.16,6
Auckland (N.-Z.)	4. 3,5	Pékin.............	14. 6,9	Ile Kerguélen........	18.17,2
Nouméa..............	4. 7,4	Shanghaï...........	14. 7,3	Ile Amsterdam.	18.19,0
Shanghaï...........	4.20,6	Nouméa............	14. 7,9	Yeddo.	18.27,1
Pékin..............	4.22,4	Auckland (N.-Z.).....	14. 9,4	Shanghaï...........	18.27,9
Yeddo	4.22,5	Hobart Town........	14.12,9	Mandchourie........	18.29,0
Mandchourie........	4.24,4	Terre Victoria.......	14.15,2	Pékin..............	18.29,3
Sibérie.............	4.25,6	Ile Amsterdam	14.19,9	Mascate...........	18.30,3
		Terre d'Enderby.....	14.20,1	Sibérie.........	18.30,6
		Iles Macdonald	14.20,2	Suez..............	18.31,0
		Ile Kerguélen.......	14.20,5	Tobolsk............	18.32,6

Différences des durées des passages.

	SIBÉRIE.	MANDCHOURIE.	YEDDO.	PÉKIN.	SHANGHAÏ.	NOUMÉA.	AUCKLAND.	HOBART TOWN.	ILE AMSTERDAM.	ILE KERGUÉLEN.	ILES MACDONALD.	TERRE VICTORIA.
	m	m	m	m	m	m	m	m	m	m	m	m
Terre d'Enderby........	31,2	30,0	28,1	28,0	26,2	13,0	9,1	6,7	4,7	2,3	1,9	1,6
Terre Victoria..........	29,6	28,4	26,5	26,4	24,6	11,4	7,5	5,1	3,1	0,7	0,3	
Iles Macdonald..........	29,3	28,1	26,2	26,1	24,3	11,1	7,2	4,8	2,8	0,4		
Ile Kerguélen..........	28,9	27,7	25,8	25,7	23,9	10,7	6,8	4,4	2,4			
Ile Amsterdam..........	26,5	25,3	23,4	23,3	21,5	8,3	4,4	2,0				
Hobart Town...........	24,5	23,3	21,4	21,3	19,5	6,3	2,4					
Auckland (N.-Z.)........	22,1	20,9	19,0	18,9	17,1	3,9						
Nouméa................	18,2	17,0	15,1	15,0	13,2							
Saughaï................	5,0	3,8	1,9	1,8								
Pékin..................	3,2	2,0	0,1									
Yeddo..................	3,1	1,9										
Mandchourie............	1,2											

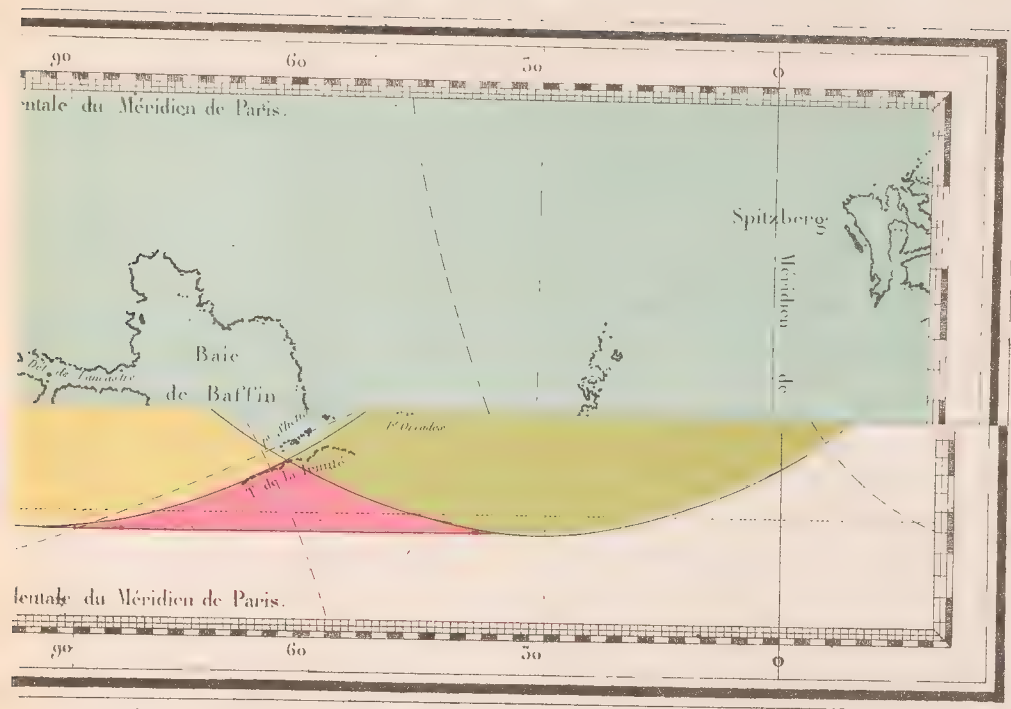
Différences des heures d'entrée.

	ILE KERGUÉLEN.	ILES MACDONALD.	TERRE D'ENDERBY.	ILE AMSTERDAM.	TERRE VICTORIA.	HOBART TOWN.	AUCKLAND.	NOUMÉA.	SHANGHAÏ.	PÉKIN.	SIBÉRIE.	YEDDO.	MANDCHOURIE.	TAÏTI.	NOUKAHIVA.
	m	m	m	m	m	m	m	m	m	m	m	m	m	m	m
Hawaï	20,8	20,5	20,4	20,2	15,5	13,2	9,7	8,2	7,6	7,2	5,3	4,9	4,9	4,3	2,9
Noukahiva	17,9	17,6	17,5	17,3	12,6	10,3	6,8	5,3	4,7	4,3	2,4	2,0	2,0	1,4	
Taïti	16,5	16,2	16,1	15,9	11,2	8,9	5,4	3,9	3,3	2,9	1,0	0,6	0,6		
Mandchourie	15,9	15,6	15,5	15,3	10,6	8,3	4,8	3,3	2,7	2,3	0,4	0,0			
Yeddo	15,9	15,6	15,5	15,3	10,6	8,3	4,8	3,3	2,7	2,3	0,4				
Sibérie	15,5	15,2	15,1	14,9	10,2	7,9	4,4	2,9	2,3	1,9					
Pékin	13,6	13,3	13,2	13,0	8,3	6,0	2,5	1,0	0,4						
Shanghaï	13,2	12,9	12,8	12,6	7,9	5,6	2,1	0,6							
Nouméa	12,6	12,3	12,2	12,0	7,3	5,0	1,5								
Auckland (N.-Z.)	11,1	10,8	10,7	10,5	5,8	3,5									
Hobart Town	7,6	7,3	7,2	7,0	2,3										
Terre Victoria	5,3	5,0	4,9	4,7											
Ile Amsterdam	0,6	0,3	0,2												
Terre d'Enderby	0,4	0,1													
Iles Macdonald	0,3														

Différences des heures de sortie.

	TOBOLSK.	SUEZ.	SIBÉRIE.	MASCATE.	PÉKIN.	MANDCHOURIE.	SHANGHAÏ.	YEDDO.	ILE AMSTERDAM.	ILE KERGUÉLEN.	ILES MACDONALD.	NOUMÉA.	TERRE D'ENDERBY.	HOBART TOWN.	AUCKLAND
	m	m	m	m	m	m	m	m	m	m	m	m	m	m	m
Terre Victoria	21,4	19,8	19,4	19,1	18,1	17,8	16,7	15,9	7,8	6,0	5,4	4,1	3,3	2,8	1,7
Auckland (N.-Z.)	19,7	18,1	17,7	17,4	16,4	16,1	15,0	14,2	6,1	4,3	3,7	2,4	1,6	1,1	
Hobart Town	18,6	17,0	16,6	16,3	15,3	15,0	13,9	13,1	5,0	3,2	2,6	1,3	0,5		
Terre d'Enderby	18,1	16,5	16,1	15,8	14,8	14,5	13,4	12,6	4,5	2,7	2,1	0,8			
Nouméa	17,3	15,7	15,3	15,0	14,0	13,7	12,6	11,8	3,7	1,9	1,3				
Iles Macdonald	16,0	14,4	14,0	13,7	12,7	12,4	11,3	10,5	2,4	0,6					
Ile Kerguélen	15,4	13,8	13,4	13,1	12,1	11,8	10,7	9,9	1,8						
Ile Amsterdam	13,6	12,0	11,6	11,3	10,3	10,0	8,9	8,1							
Yeddo	5,5	3,9	3,5	3,2	2,2	1,9	0,8								
Shanghaï	4,7	3,1	2,7	2,4	1,4	1,1									
Mandchourie	3,6	2,0	1,6	1,3	0,3										
Pékin	3,3	1,7	1,3	1,0											
Mascate	2,3	0,7	0,3												
Sibérie	2,0	0,4													
Suez	1,6														

Nota. — La carte jointe à cette note a été dessinée d'après des données numériques un peu moins exactes que celles qui sont rapportées dans le texte. Les points A et B devraient être reportés d'environ 4° à l'ouest, ainsi que les cercles qui ont ces points pour pôles ; pareillement les points A′ et B′ et les cercles dont ils sont les pôles devraient être reculés à l'ouest de 2°. Quant aux points A″ et B″, ils sont à très-peu près aux places qu'ils doivent occuper. Les deux cercles d'illumination à l'entrée et à la sortie doivent aussi être reportés à l'ouest, le premier de $1° \frac{1}{2}$, le second de 1°. La carte n'a d'ailleurs pour objet que de représenter approximativement le phénomène et de faciliter la comparaison entre les diverses stations; les petites corrections qu'on vient d'indiquer n'ont, à ce point de vue, aucune importance.



... passage.

...rent et à la fin du passage, mais il se couche dans l'intervalle

...t couché à la sortie.

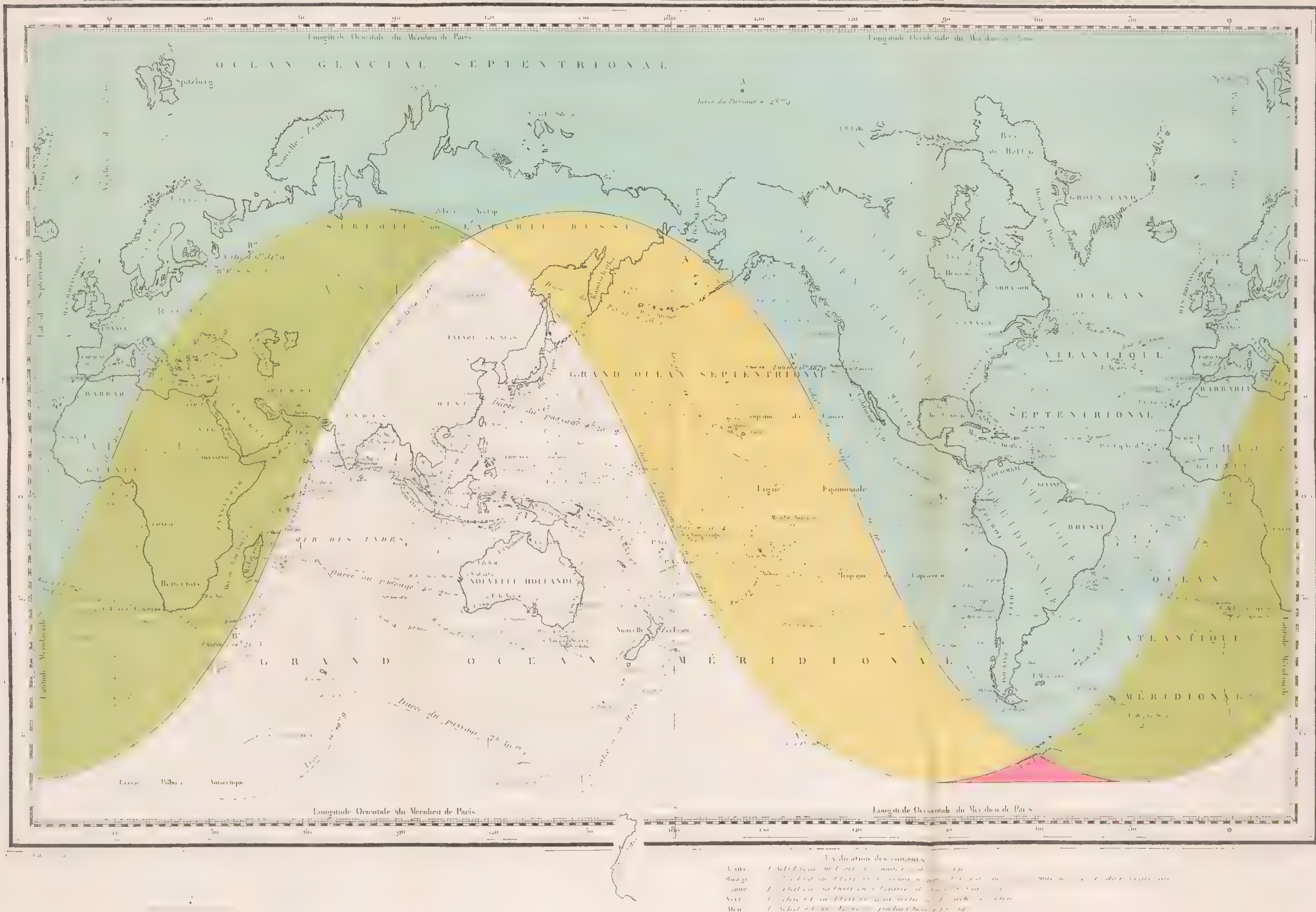
... est couché à l'entrée.

...le passage.

Nota. — La carte jointe à cette note a été dessinée d'après des données numériques un peu moins exactes que celles qui sont rapportées dans le texte. Les points A et B devraient être reportés d'environ 4° à l'ouest, ainsi que les cercles qui ont ces points pour pôles ; pareillement les points A′ et B′ et les cercles dont ils sont les pôles devraient être reculés à l'ouest de 2°. Quant aux points A″ et B″, ils sont à très-peu près aux places qu'ils doivent occuper. Les deux cercles d'illumination à l'entrée et à la sortie doivent aussi être reportés à l'ouest, le premier de 1° $\frac{1}{2}$, le second de 1°. La carte n'a d'ailleurs pour objet que de représenter approximativement le phénomène et de faciliter la comparaison entre les diverses stations ; les petites corrections qu'on vient d'indiquer n'ont, à ce point de vue, aucune importance.

CARTE POUR LE PASSAGE DE VENUS SUR LE SOLEIL

le 8 Décembre 1874



NOMINATION

D'UN

NOUVEAU MEMBRE DE LA COMMISSION PRÉCÉDENTE

(Extrait du procès-verbal du Comité secret du 23 octobre 1871.)

Sur la proposition de M. le Président, M. Puiseux est adjoint à la Commission précédemment nommée. La Commission se trouve donc composée de la section d'Astronomie, de la section de Géographie et de Navigation, de M. le maréchal Vaillant et de M. Puiseux.

PROJET D'APPAREIL

POUR

L'OBSERVATION DU PASSAGE DE VÉNUS

LETTRE A M. LE PRÉSIDENT DE LA COMMISSION

PAR

M. LAUSSEDAT.

(11 mars 1872.)

Vous m'avez fait l'honneur de me demander dernièrement où en était mon projet d'appareil pour l'observation du passage de Vénus, et de m'engager à le mettre à exécution.

Après vous avoir entretenu de ce projet, il y a deux ans, j'ai procédé à l'exécution en faisant construire chez MM. Brunner frères les principales pièces de mon appareil et en faisant l'acquisition d'une pendule. J'ai fait plus, je suis allé en Angleterre, pour visiter l'établissement hélio-

graphique de Kew, et j'ai eu l'honneur d'être reçu à Cranford chez M. Warren de la Rue, qui a pris la peine de préparer lui-même sous mes yeux des plaques collodionnées, analogues à celles qui lui ont servi à obtenir ses belles épreuves de photographie lunaire.

Ces études ont été interrompues par la guerre ; aujourd'hui j'ai repris mon œuvre et je m'efforce de la mener à bonne fin. MM. Brunner disposent en ce moment les différentes parties de mon appareil, et, quand tout sera prêt, je me ferai un devoir de vous inviter à le voir, en vous priant de critiquer ce qui vous paraîtrait imparfait. Le but que je me propose d'atteindre, dans le cas où il me serait possible d'aller observer moi-même le passage du 8 décembre 1874, en Égypte, est celui que je crois vous avoir déjà indiqué : obtenir le plus grand nombre possible de photographies du Soleil, pendant la durée du passage, et m'arranger de manière à connaître, avec la dernière précision, les heures correspondantes et la position du disque du Soleil rapportée au méridien céleste du centre de cet astre.

Je pense qu'il est inutile, Monsieur le Président, d'entrer dans d'autres détails. Toutes les précautions sont prises pour que l'image du Soleil soit parfaitement définie de position; c'est ensuite une affaire de calcul et d'appareil micrométrique spécial, que de disposer les résultats pour la discussion et la mesure des positions du disque de Vénus au diamètre du Soleil qui représente le tracé du méridien céleste du centre de l'astre.

Je ne dois pas omettre cependant d'ajouter que la pendule, réglée et suivie avec soin avant et après le jour du passage, est munie d'un système de communication électri-

que, au moyen duquel, à chaque minute précise marquée par la pendule, un écran tombe au-devant de la lunette et permet le passage des rayons solaires.

J'ai entrepris et je continuerai à mes frais tous les préparatifs et je tâcherai, en opérant sur les taches du Soleil, de faire, cet été ou l'été prochain, toutes les expériences nécessaires, si les devoirs que j'ai à remplir me le permettent.

RAPPORT

SUR

LE ROLE DE LA PHOTOGRAPHIE

DANS L'OBSERVATION DU PASSAGE DE VÉNUS

PAR

M. FAYE.

(Extrait des *Comptes rendus hebdomadaires des séances de l'Académie des sciences,* seance du 2 septembre 1872.)

La photographie va jouer, dans l'observation du prochain passage de Vénus, un rôle considérable dont il importe de se rendre compte. L'Angleterre fait achever en ce moment huit photohéliographes sur le modèle de celui de Kew, dont trois sont destinés à la Russie qui en possède déjà un. Les Allemands vont en avoir quatre; le Portugal expédiera celui de Lisbonne à Macao; les États-Unis en construisent également, mais sur un plan bien différent; la France projette de faire construire quatre appareils photographiques dont M. Delaunay avait confié l'étude à MM. Martin, Wolf et Bourbouze. Cela fait déjà plus de vingt

appareils photographiques qui vont être expédiés, avec tout autant d'habiles photographes, sur les points les plus favorables des deux hémisphères pour la mesure de la parallaxe du Soleil. Voilà ce qu'a produit enfin, dans ces derniers temps, l'idée simple mais féconde de supprimer l'observateur et de remplacer son œil et son cerveau par une plaque sensible reliée à un télégraphe électrique. C'est, dans le système des observations modernes, un progrès presque comparable à celui qui a été réalisé, il y a deux siècles, par l'application des lunettes aux instruments de mesure.

M. Warren de la Rue, dont j'ai eu bien souvent occasion de signaler à l'Académie les belles recherches d'astronomie photographique, a choisi ce sujet pour texte du discours qu'il a prononcé, il y a quinze jours, à l'inauguration de l'une des sections de l'Association britannique, réunie à Brighton. Il a parfaitement retracé et discuté les préparatifs et les essais accomplis en Angleterre, en Russie, en Allemagne et aux États-Unis. Si j'avais pu assister à ces séances, pour lesquelles M. le maire de Brighton m'avait fait l'honneur de m'adresser une invitation, j'aurais essayé de compléter l'intéressant exposé de M. Warren de la Rue, en disant ce que nous avons fait de notre côté pendant la trop longue période d'incubation de ce progrès décisif. Je demande à l'Académie la permission de le lui rappeler rapidement.

Dans cette vaste entreprise photographique, il faut distinguer deux méthodes : celle qui consiste à employer un objectif à court foyer, donnant une très-petite image focale que l'on est obligé d'agrandir à l'aide d'un appareil opti-

que spécial, pour la projeter sur la plaque sensible, et celle qui se borne à demander l'image céleste à un objectif à très-long foyer, qui la dessine immédiatement sur la plaque. La première méthode a l'avantage d'employer des appareils très-maniables, mais cet avantage est compensé par l'inconvénient de l'appareil auxiliaire qui peut altérer l'exactitude des clichés et déformer les images. Il a fallu de très-minutieuses études et l'emploi d'artifices délicats pour parvenir à se mettre à l'abri de ces graves défauts. La deuxième méthode en est exempte; mais on redoute d'être conduit à transporter au loin et à ériger des lunettes de 10 ou 12 mètres de longueur. Les astronomes des États-Unis, suivant M. Warren de la Rue, se sont néanmoins arrêtés à l'emploi des objectifs à long foyer, en simplifiant leur installation à l'aide d'un héliostat.

Ces deux méthodes ont déjà été appliquées en France, il y a de longues années, la première en 1858, la seconde en 1860. L'Académie sait que l'on a réussi du premier coup à produire de magnifiques épreuves du passage de la Lune sur le Soleil, le 15 mars 1858. Le phénomène avait eu lieu le lundi, un peu avant la séance; une heure après, je mettais sous les yeux de l'Académie un des négatifs de cette éclipse, où les disques du Soleil et de la Lune n'avaient pas moins de 14 centimètres de diamètre au lieu des 6 ou 8 centimètres que l'on ambitionne aujourd'hui (1).

Quelques jours plus tard, nous avons présenté les autres clichés de l'éclipse du 15 mars, ainsi qu'une série d'images

---

(1) Voir *Comptes rendus*, 1858, t. XLVI, *Indications soumises aux photographes relativement à l'éclipse du 15 mars*, p. 479, et même volume, p. 507, *Observations photographiques faites avec la grande lunette de M. Porro.*

solaires d'une perfection qui n'a pas encore été atteinte, je crois, sous de pareilles dimensions, ainsi que le dessin de l'appareil qui nous avait servi à mesurer les coordonnées des divers points du bord de l'astre ou du centre des taches (1).

Il résultait évidemment de ce premier succès les conséquences suivantes :

1° La méthode qui consiste à recevoir directement sur la plaque sensible l'image du Soleil à l'aide d'objectifs à très-long foyer, réussit du premier coup, sans essais et sans tâtonnement.

2° Le collodion sec qu'on doutait encore, il y a peu de temps, de pouvoir employer, d'après M. W. de la Rue, nous avait réussi du premier coup, sans essais et sans tâtonnement, malgré la rapidité de la pose.

3° Les images ainsi obtenues peuvent être orientées avec une grande perfection, soit à l'aide d'un fil dont l'image est parfaitement reproduite sur les clichés, soit à l'aide d'une seconde image du Soleil obtenue en partie sur la même plaque à deux minutes d'intervalle.

4° Les clichés, malgré un léger défaut de striage dû à la qualité du collodion employé, se prêtaient à des mesures d'une grande précision, précision qui a été trouvée supérieure à celle de l'héliomètre de Kœnigsberg.

5° L'échelle angulaire des longueurs mesurées sur ces épreuves s'obtenait en enregistrant sur une même plaque les déplacements d'*un même bord* du Soleil pour les laps

---

(1) *Comptes rendus*, 1858, t. XLVI, Sur les photographies de l'éclipse du 15 mars, présentées par MM. Porrot et Quinet.

de temps parfaitement déterminés à l'aide de la télégraphie électrique.

6° J'émettais, en 1858, quelques craintes sur l'effet nuisible des réflexions à la surface postérieure du verre collodionné et à la surface mate du châssis; mais j'indiquais le moyen de les éliminer en noircissant cette face du cliché. C'est un procédé dont M. de la Rue signale l'application toute récente en Angleterre.

7° La difficulté d'employer de très-grandes lunettes n'a pas été sensible pour nous. Celle dont nous nous sommes servis n'était même pas supportée en son milieu; elle était tenue en l'air par une seule extrémité. Il est assurément bien facile de trouver une installation plus stable (1).

On voit que le problème était résolu, dès cette époque, du premier coup, grâce à l'emploi d'objectifs à long foyer. Il restait seulement à se préoccuper de la correction chromatique de l'objectif lui-même. Je n'ai pas besoin de rappeler pourquoi cette question capitale, qui a été si bien résolue depuis aux États-Unis par M. Rutherfurd, n'a pas été abor-

---

(1) Enfin j'aurais facilement étudié, dès cette époque, la difficulté qui consiste dans le retrait possible du collodion après les lavages et la dessiccation : il suffisait de tracer au diamant une échelle de petits traits parallèles équidistants sur la face que devait recouvrir le collodion, puis de présenter la plaque à la lumière, non pas du côté ordinaire, mais par la face non collodionnée, de manière à photographier cette échelle. On aurait ensuite regardé à la loupe, après les opérations ordinaires, si les traits du collodion étaient restés ou non en coïncidence avec ceux du verre.

M. W. de la Rue émet quelques doutes sur l'emploi du daguerréotype substitué au collodion. Je crois être en état d'affirmer à l'Académie que cette substitution a été réalisée par M. Martin, à l'Observatoire de Paris, avec un entier succès. Les épreuves de ce genre se présentent très-bien aux mesures micrométriques les plus délicates.

dée par nous; mais je ferai observer que ces expériences, représentant l'utilisation d'un capital considérable, n'ont pas coûté un centime à l'État.

Plus tard, en 1860, nous avons fait un pas de plus. Depuis 1849, j'avais entretenu à diverses reprises l'Académie de la possibilité de supprimer l'observateur dans les observations méridiennes elles-mêmes (1). Il fallait ici renoncer aux longues lunettes et recourir à un appareil de grandissement analogue à celui que l'on étudie encore en ce moment en Allemagne, en Angleterre et en France. Nous y avons également réussi à l'aide d'un appareil construit par M. Porro et d'un télégraphe de MM. Digney frères. Cet appareil consistait en une lunette méridienne à prisme objectif tournant sur des colliers et portant à la place de l'oculaire l'appareil d'agrandissement destiné à projeter à la fois sur la plaque sensible le réticule et l'image solaire. Une détente faisait marcher au doigt, presque instantanément, un très-petit écran placé dans le plan de l'anneau oculaire de l'appareil optique, et l'enregistreur électrique, relié à cet écran, notait le temps avec une précision extrême. L'observation méridienne du Soleil que nous avons obtenue ainsi, et que j'ai présentée il y a douze ans à l'Académie, existe encore entre mes mains. Elle a été faite, non par un astronome, mais par un enfant, et je ne crois pas, malgré quelques petits défauts dus à une installation précipitée, qu'aucun observatoire puisse produire rien de pareil par les anciennes méthodes (2).

(1) *Comptes rendus*, 1849, t. XXVIII, p. 241, *Sur les observations du Soleil.*

(2) *Comptes rendus*, 1860, t. L, p. 965, *Sur l'état de la photographie astronomique en France.*

Vers la même époque, c'est-à-dire en 1860, M. Laussedat imagina un procédé fort ingénieux qui consistait à placer la lunette dans une position fixe et à lui renvoyer l'image du Soleil à l'aide du miroir plan d'un héliostat. Il ne se contenta pas de l'imaginer; il l'appliqua lui-même en Algérie à l'observation de l'éclipse de 1860, et fit voir que ce procédé permettrait d'utiliser pour l'observation photographique du passage de Vénus un objectif d'une longueur focale quelconque. C'est précisément le procédé que les astronomes des États-Unis vont employer en grand, en 1874, avec des lunettes de 40 pieds anglais. M. Warren de la Rue craint l'effet de la chaleur solaire sur la trajectoire de ces rayons parcourant la même couche d'air, depuis le miroir jusqu'à l'objectif et, ajouterai-je moi-même, de là jusqu'au réticule; mais cette influence, sur laquelle une très-curieuse observation de M. Airy, à Cambridge, avait appelé mon attention il y a bien longtemps, peut être facilement supprimée si l'on place au-dessus du miroir de l'héliostat un écran mobile qui, relié électriquement à la détente de la plaque photographique, ne découvrira le miroir lui-même qu'à l'instant voulu, et pendant une durée aussi courte que l'on voudra.

C'est aussi là l'appareil que l'on a nommé depuis sidérostat. Les perfectionnements remarquables que M. Foucault y a introduits ne doivent pas nous faire oublier que l'idée et l'application première en sont dues à M. Laussedat, surtout au moment où des appareils analogues vont être employés sur une grande échelle par les astronomes des États-Unis et très-probablement aussi par les astronomes français.

M. Warren de la Rue objecte encore l'influence du miroir, dont la parfaite planitude ne saurait être assurée ; mais les procédés de M. Foucault, si bien appliqués aujourd'hui par M. Martin, nous donnent à cet égard toute garantie. D'ailleurs il suffit d'étudier à l'avance le miroir, rendu fixe, en photographiant, sur la même plaque, une petite partie du même bord du disque solaire de dix secondes en dix secondes, par exemple, à l'aide d'une disposition analogue à celle qui a servi pour l'observation méridienne dont je parlais tout à l'heure. On mettra ainsi en évidence et l'on pourra mesurer avec exactitude l'influence des petits défauts du système optique employé.

Enfin M. W. de la Rue pense qu'il est essentiel au succès de l'opération que les instruments employés à l'observation photographique du passage de Vénus soient identiques, afin de donner des résultats comparables entre eux. Cette condition, si elle était rigoureuse, exclurait du résultat final qu'il s'agit d'atteindre le concours des pays qui n'auraient pas adopté l'identité de méthodes et d'appareils. Je ferai remarquer à ce sujet que, s'il pouvait exister entre le diamètre photographique et le diamètre visuel du Soleil ou de Vénus quelque petite différence, non encore constatée d'ailleurs, cela ne toucherait en rien à la mesure des coordonnées relatives des centres des deux astres, pourvu que l'effet de l'irradiation actinique, si l'on veut bien me passer cette expression, restât le même au même instant sur tout le contour de ces astres pour un instrument quelconque; pourvu aussi que l'on empruntât la valeur angulaire de l'échelle des longueurs aux mouvements d'un même point du disque solaire et non à l'amplitude de son disque appa-

rent. Je suis donc d'avis que les résultats obtenus par les astronomes des États-Unis, avec leurs miroirs réfléchissants et leurs lunettes de quarante pieds, pourront être combinés avec les autres, tout en regrettant que l'emploi des objectifs à 10 ou 15 mètres de longueur focale ne doive pas se généraliser. J'ai toujours pensé, en effet, en me fondant sur nos opérations de 1858 qui ont réussi du premier coup, que cette méthode possède une réelle supériorité à tous les points de vue. C'est, je crois, celle à laquelle les astronomes se rallieront au second passage de Vénus (1882), après avoir tout essayé au premier passage (1874) sur une échelle bien digne de la puissance matérielle et scientifique de notre époque.

J'ajouterai, en terminant, une dernière réflexion. Les astronomes allemands, dont l'autorité scientifique est bien connue, ont décidé que les mesures héliométriques, à l'aide de l'appareil inventé par Bouguer, perfectionné par Dollond et si bien construit par Fraunhofer, tiendraient le premier rang dans leurs expéditions de 1874. Les contacts de Halley et la photographie sont par eux relégués au second rang. On s'explique cette décision, pour la méthode des contacts, en considérant l'influence inévitable des ondulations atmosphériques sur les observations ainsi obtenues. Cette influence se retrouve tout entière dans chaque observation de cette dernière espèce ; pour l'éliminer, il faut que ce contact ait été observé un grand nombre de fois par beaucoup d'observateurs; en d'autres termes, il y faut un grand nombre de stations combinées entre elles. Dans le système allemand, au contraire, chaque observateur peut répéter ses mesures un certain nombre de fois dans des

circonstances atmosphériques incessamment variables; il obtient ainsi une moyenne où ces influences accidentelles se seront compensées en grande partie. Le résultat a donc une valeur par lui-même et n'a pas besoin, pour l'élimination de cette cause d'erreur, d'être combiné avec beaucoup d'autres. Mais je ferai remarquer que la méthode photographique possède cet avantage à un degré bien plus marqué. En outre elle échappe beaucoup mieux, comme je le montrais tout à l'heure, à une autre influence, plus dangereuse à mon avis, à savoir l'action prolongée de la chaleur solaire qui accompagne les rayons de lumière introduits dans nos appareils. Ce sont, je crois, les mesures héliométriques qui en ressentiront le plus les inconvénients, surtout quand il s'agira de mettre artificiellement en contact les bords du Soleil et de la planète. A mon avis, la méthode photographique est supérieure, et je me ferais un titre de l'avoir signalée le premier à l'attention des astronomes, s'il pouvait y avoir quelque mérite à concevoir une idée si simple.

Cependant cette idée n'a pas paru toujours aussi frappante qu'aujourd'hui. En 1858 on n'a guère accordé à nos premiers résultats qu'un intérêt passager; on ne prévoyait pas alors que nous verrions bientôt une trentaine de photographes prendre part, et peut-être la plus grande part, aux expéditions organisées par les nations civilisées pour l'observation du passage de Vénus. La photographie a donc décidément pris pied dans le domaine de l'astronomie ; nous aurions voulu rappeler, à Brighton, que nous avons contribué par nos efforts à amener ce résultat.

NOMINATION

DE TROIS NOUVEAUX MEMBRES

DE LA

COMMISSION DU PASSAGE DE VÉNUS

(Extraits des *Comptes rendus hebdomadaires des séances de l'Académie des sciences*, séance du 2 septembre 1872.)

MM. Élie de Beaumont, Dumas, Fizeau sont désignés pour remplacer, dans la Commission du passage de Vénus, MM. E. Laugier, maréchal Vaillant, Delaunay décédés.

SUR

UN APPAREIL PHOTOGRAPHIQUE

DESTINÉ A

L'OBSERVATION DES PASSAGES DE VÉNUS

PAR

M. A. LAUSSEDAT.

(Lecture faite à l'*Association française*, dans sa séance du 12 septembre 1872, à Bordeaux.)

L'appareil que je propose pour observer photographiquement les passages de Vénus sur le disque du soleil, est fondé sur un principe assez connu aujourd'hui, mais dont j'ai le droit de revendiquer la priorité (1) et que je me contenterai d'abord de rappeler en quelques mots.

---

(1) Voyez les *Comptes rendus des séances de l'Académie des sciences*, t. LI, p. 444 et 994, t. LXVI, p. 487, t. LXX, p. 545 à 548 et t. LXXV, p. 565, et la *Revue des cours scientifiques*, du 21 mars 1868.

Une lunette fixe et horizontale, dont l'axe optique est dirigé dans le méridien ou dans le premier vertical, reçoit les rayons solaires projetés par un héliostat dans cette direction. L'image du soleil, formée au foyer de l'objectif de la lunette et amplifiée au besoin, au moyen de l'oculaire convenablement réglé, est reçue sur une surface sensible dont le plan coïncide, soit avec le premier vertical, soit avec le méridien, selon la direction donnée à la lunette.

J'ai disposé, pour la première fois, un appareil de cette espèce, en Algérie, pour obtenir, avec le concours de M. Aimé Girard, des images photographiques de l'éclipse solaire du 18 juillet 1860, sur lesquelles il fut possible d'effectuer des mesures d'angles de position rapportées, soit au vertical, soit au méridien céleste du centre du soleil, plus exactement, à coup sûr, que si l'on eût fait usage d'une lunette montée équatorialement.

Cette expérience, pour ainsi dire improvisée (car nous avions eu quinze jours à peine pour faire les préparatifs de l'expédition en Algérie), ayant été très-satisfaisante, j'ai songé depuis longtemps à l'appliquer à l'observation des passages de Vénus, et, dès l'été de 1869, je m'occupais de construire, à mes frais, un petit observatoire destiné à servir à tous les essais que je croyais nécessaires pour perfectionner les différentes parties de l'appareil. Il s'agissait notamment :

1° De choisir le meilleur procédé photographique à employer; 2° de reconnaître s'il valait mieux obtenir des images amplifiées au moyen de l'oculaire, comme nous l'avions fait en 1860, en Algérie, et en 1867, en Italie, ou bien employer des objectifs à longs foyers, et avoir ainsi du pre-

mier coup des images d'un diamètre assez grand pour pouvoir y mesurer micrométriquement, avec un degré d'exactitude suffisant, les distances du centre de la planète au bord du soleil ; 3° d'étudier et d'arrêter le moyen d'enregistrer automatiquement les instants précis auxquels seraient obtenues les images que je crois utile de multiplier autant que possible.

Tous ces essais et ceux que des expériences suivies pourraient suggérer devaient être faits sur le disque solaire et sur les principales taches qui s'y seraient rencontrées.

Pour étudier dans son sanctuaire la photographie céleste, je m'étais rendu, au commencement de l'été de 1870, en Angleterre, où j'avais visité l'Observatoire héliographique de Kew, et reçu l'hospitalité la plus cordiale chez M. Warren de la Rue, qui avait pris la peine de m'enseigner lui-même ses excellents procédés.

J'étais à peine rentré de cette excursion, que la guerre éclatait au mois de juillet et m'obligeait à abandonner mes études pour prendre du service.

Dès qu'il m'a été possible de me remettre à l'œuvre, j'ai demandé à MM. Brunner frères de réaliser les moyens mécaniques dont je comptais faire usage pour obtenir les images du soleil à des intervalles de temps réguliers et à des instants parfaitement déterminés.

Cette partie de l'appareil est assez avancée, mais les obligations que m'imposent les fonctions que je continue à remplir dans l'armée m'ont empêché jusqu'à présent d'entreprendre les expériences que je devais commencer dès 1870, et la partie optique est tout entière à étudier.

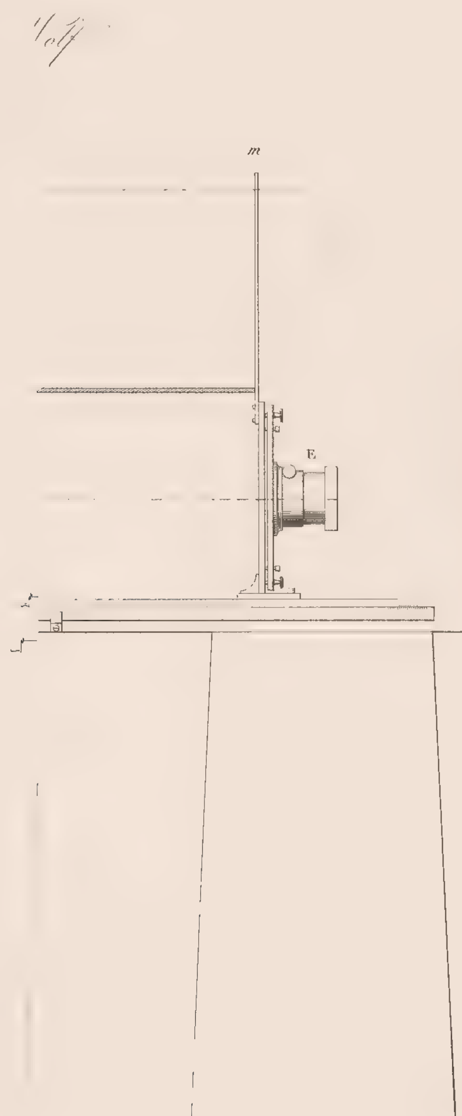
Je vous devais cet exposé de faits pour expliquer pour-

quoi je ne suis pas en état de vous présenter, dès à présent, des épreuves photographiques, et pour vous prier d'excuser ce qu'il y aura nécessairement d'incomplet dans ma communication. Je n'essayerai pas moins de vous donner une idée suffisante de la disposition générale de l'observatoire que j'ai commencé à faire construire, expressément pour y installer les différents instruments qui constituent l'appareil tel que je l'ai projeté et qui pourrait être, qui sera sans doute imité, à quelques modifications près, dans les stations où l'on se proposera de faire des observations photographiques des passages de Vénus.

Description de l'observatoire photographique. — La figure que j'ai préparée (planche ci-contre, *fig.* 1 *et* 2) représente cette disposition générale, en plan et en élévation.

Le premier pilier à gauche porte une petite lunette servant de collimateur C, dont le champ peut être éclairé de nuit au moyen d'une lampe *l*; vient ensuite la baraque méridienne au centre de laquelle est installé l'instrument des passages M et qui contient, en outre, dans l'un de ses angles, la pendule astronomique P; le pilier construit à droite de la baraque est destiné à supporter l'héliostat H; enfin, à une distance convenable de l'héliostat se trouvent le pilier de la lunette fixe L et la baraque photographique. Entre l'héliostat et la lunette fixe, mais beaucoup plus près de cette dernière, est placé un écran E, mobile le long d'un châssis vertical, indépendant du reste de l'appareil, et seulement réuni à la lunette par une coiffe d'étoffe noire.

L'alignement des piliers successifs est, selon le cas, dans la direction du méridien ou dans celle du premier vertical.



Gravé par E. Pérot.

quoi je ne suis pas en état de vous présenter, dès à présent, des épreuves photographiques, et pour vous prier d'excuser ce qu'il y aura nécessairement d'incomplet dans ma communication. Je n'essayerai pas moins de vous donner une idée suffisante de la disposition générale de l'observatoire que j'ai commencé à faire construire, expressément pour y installer les différents instruments qui constituent l'appareil tel que je l'ai projeté et qui pourrait être, qui sera sans doute imité, à quelques modifications près, dans les stations où l'on se proposera de faire des observations photographiques des passages de Vénus.

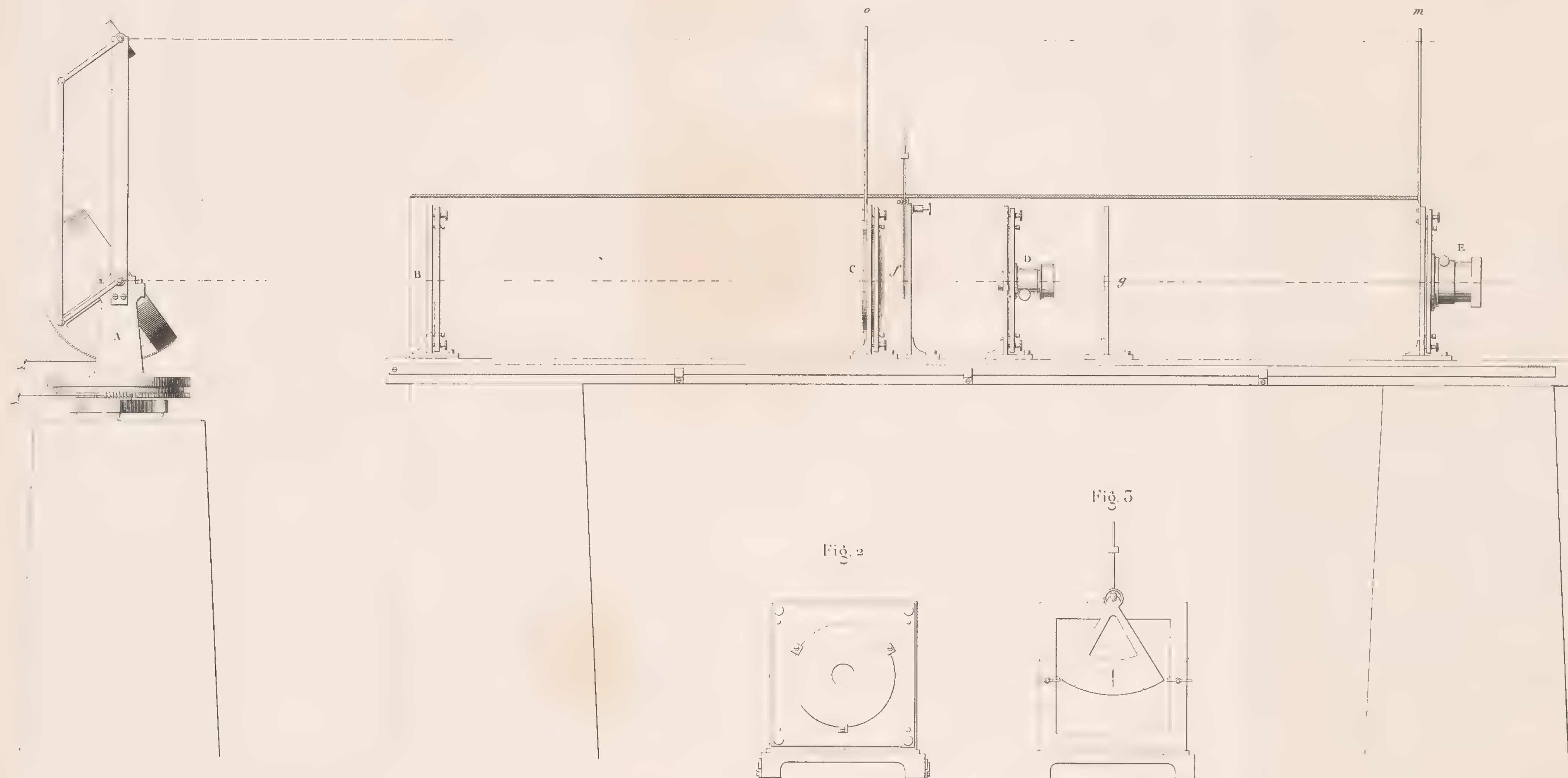
Description de l'observatoire photographique. — La figure que j'ai préparée (planche ci-contre, *fig.* 1 *et* 2) représente cette disposition générale, en plan et en élévation.

Le premier pilier à gauche porte une petite lunette servant de collimateur C, dont le champ peut être éclairé de nuit au moyen d'une lampe *l*; vient ensuite la baraque méridienne au centre de laquelle est installé l'instrument des passages M et qui contient, en outre, dans l'un de ses angles, la pendule astronomique P; le pilier construit à droite de la baraque est destiné à supporter l'héliostat H ; enfin, à une distance convenable de l'héliostat se trouvent le pilier de la lunette fixe L et la baraque photographique. Entre l'héliostat et la lunette fixe, mais beaucoup plus près de cette dernière, est placé un écran E, mobile le long d'un châssis vertical, indépendant du reste de l'appareil, et seulement réuni à la lunette par une coiffe d'étoffe noire.

L'alignement des piliers successifs est, selon le cas, dans la direction du méridien ou dans celle du premier vertical.

Appareil photographique pour l'observation du passage de Vénus par MM. Ad. Martin et C. Wolf

Fig. 1.



Echelle au 1/10

0 1 mètre

Gravé par E. Pérot.

Si le phénomène du passage doit avoir lieu vers le milieu de la journée, on choisit la direction du méridien, et la grande lunette fixe est toujours placée, par rapport à la baraque méridienne, du côté de la verticale où culmine le soleil; quand le phénomène arrive le matin ou le soir, on aligne les piliers dans la direction du premier vertical, en disposant celui de la lunette fixe à l'est de la baraque méridienne, si l'on doit opérer le matin, ou à l'ouest si l'on doit opérer le soir.

Il est inutile, je pense, de justifier la préférence accordée aux quatre positions indiquées pour la lunette fixe, selon les circonstances, ou même le choix que j'ai fait des deux directions du méridien et du premier vertical. Chacun sait que ces deux directions sont celles que l'on détermine le plus sûrement, au moyen d'observations astronomiques, principalement la première.

Le cercle méridien que j'ai fait construire pour mes expériences est muni d'un limbe horizontal sur lequel sont tracés quatre repères à angles droits, pour faciliter l'installation alternative de la lunette des passages, dans le plan du méridien et dans le premier vertical.

Longitude et latitude de la station. — Quand on est arrivé à la station qu'on a choisie, par des considérations dont nous n'avons pas à nous occuper ici, il faut, après avoir trouvé un emplacement convenable et s'être orienté avec assez de soin, installer, abriter et régler les instruments, étudier la marche de la pendule et déterminer, avec la plus grande précision possible, la longitude et la latitude géographiques de l'observatoire.

Je suppose ces observations préliminaires effectuées (bien que l'on puisse, pour plus d'exactitude, les poursuivre pendant toute la durée du séjour dans la station), et je me borne à ajouter que, pour régler l'axe optique de la lunette fixée *horizontalement* et *dans le méridien* ou *dans le premier vertical,* j'emploie un grand niveau n et le collimateur C réglé lui-même au moyen du cercle méridien. Je crois cependant devoir encore faire une remarque ; si la lunette fixe est dirigée dans le méridien, un seul collimateur suffit, et c'est le cas représenté (*fig.* 1 *et* 2); mais quand elle est dirigée dans le premier vertical, il serait peut-être bon d'employer deux collimateurs situés, l'un en face de la lunette fixe et l'autre dans le méridien, pour faciliter les changements de direction de la lunette des passages et pour éviter de multiplier outre mesure les observations astronomiques.

Obtention des images; marche des rayons lumineux dans l'appareil. — Admettons donc que tous les préparatifs soient terminés et qu'il ne s'agisse plus que de procéder aux expériences photographiques. Voyons d'abord dans quelles conditions on obtiendra les images du soleil.

A l'extrémité de la lunette qui est occupée habituellement par l'oculaire, on voit, sur la figure, une petite chambre obscure b qui repose sur le même pilier que la lunette fixe et qui est renfermée dans la baraque photographique. Cette baraque contient, en outre, dans des casiers appliqués sur ses longs côtés, une série de châssis dans lesquels on peut disposer les plaques sensibilisées, de quelque nature qu'elles soient. L'un de ces châssis étant placé dans les

coulisses du fond de la petite chambre obscure, réglée de position à la manière ordinaire, c'est-à-dire à l'aide d'un verre dépoli, et le volet qui recouvrait la plaque étant levé, si l'écran E vient à tomber et découvre pendant un instant très-court l'objectif de la lunette fixe, les rayons réfléchis à la surface du miroir de l'héliostat atteignent la surface sensible et produisent une image du soleil que l'on peut immédiatement développer et fixer.

Je ne crois pas devoir entrer dans les détails relatifs à l'installation et à l'aménagement de la baraque photographique destinée aux manipulations. Je dirai seulement que cette baraque est précédée d'un tambour (*fig.* 1 *et* 2); dont la porte est forcément refermée quand on ouvre celle du laboratoire, où la lumière n'entre que tamisée par les verres jaunes qui garnissent les fenêtres (1).

Le nombre des images à prendre pendant la durée du passage de Vénus pouvant être très-considérable, comme nous le verrons plus loin, il est presque superflu de conseiller à ceux qui seront chargés de l'observation, de procéder avec le plus grand ordre et de numéroter les épreuves avec soin. Pour faciliter ces précautions et pour éviter la confusion, des deux casiers préparés pour recevoir les châssis et les plaques, l'un, celui de gauche, par exemple, serait destiné aux plaques à exposer, et celui de droite aux épreuves obtenues.

Le diamètre des images dépend naturellement du système optique de l'appareil.

---

(1) Voir, sur le plan, la disposition des deux portes de la baraque photographique, qui retombent d'elles-mêmes.

Si l'on reçoit directement l'image du soleil qui se forme au foyer d'un objectif, ce diamètre sera assez petit, à moins qu'on n'emploie des objectifs de dimensions exceptionnelles. En désignant par l la longueur focale de l'objectif, le diamètre apparent du soleil étant de $32',5$ environ, au commencement de décembre, époque des prochains passages de Vénus, le diamètre de l'image focale sera égal à $l \times 32',5 \sin 1' = l \times 0{,}0095$ ou à très peu près au centième de la longueur focale de l'objectif.

Ainsi, un objectif de $0^{m}16$ (6^{po}) d'ouverture et d'un peu plus de 2 mètres de distance focale, comme celui de la lunette représentée sur la figure, donnerait seulement une image de 2 centimètres de diamètre environ.

Pour obtenir des images d'un plus grand diamètre, on peut, ou bien accroître l'ouverture de l'objectif, ou bien amplifier l'image focale, à l'aide de l'oculaire.

Les objectifs d'une grande ouverture et de bonne qualité coûtent très-cher, et je ne pouvais pas me permettre de les aborder. Ils exigeraient, d'ailleurs, l'emploi de miroirs d'héliostat d'une grande surface et, par conséquent, très-difficiles à construire et à se procurer. Je m'en suis donc tenu à un objectif de 6 pouces, avec l'espoir, néanmoins, d'éclaircir la question, en essayant : 1° d'obtenir l'image directe de 2 centimètres de diamètre, et 2° d'amplifier cette image, au moyen de l'oculaire, jusqu'au diamètre de 6 à 10 centimètres.

Je n'examinerai pas ici les objections que l'on fait à l'amplification de l'image au moyen de l'oculaire ; je me contenterai de dire que la meilleure manière, à mon avis, de se rendre compte de la valeur de ces objections serait de

faire des expériences variées comme celles que j'avais projetées.



Fig. 3.

La figure 3 peut nous servir à suivre la marche des rayons solaires dans les deux cas de l'image amplifiée, au moyen d'un oculaire construit spécialement et réglé de position, ainsi que la glace dépolie de la petite chambre obscure.

Cette figure suppose que l'héliostat a été réglé, de son côté, de manière que le centre de l'image du soleil soit situé sur l'axe optique de la lunette. Alors, OO′ étant cet axe optique dirigé horizontalement, MM′ le miroir de l'héliostat et S le centre du soleil, admettons que la figure soit construite dans le plan de réflexion du point S et que les deux points *a* et *b* soient, par conséquent, les extrémités du diamètre apparent de l'astre situé dans ce plan.

Les rayons réfléchis à la surface du miroir MM′ entrent dans la lunette, comme s'ils partaient de l'image virtuelle $a'b'$ symétrique de ab par rapport au plan du miroir; ils forment au foyer de l'objectif, en $a''b''$, une image réelle inverse de la première. Cette image réelle peut être reçue directement sur une surface sensible, et répond au premier cas indiqué ci-dessus, ou bien, dans le second cas, les

rayons solaires continuent leur route et vont former une seconde image renversée de nouveau en $a'''b'''$ au foyer conjugué de l'oculaire, où l'on dispose verticalement la plaque sensible sur laquelle se produit l'image en épreuve négative.

Il est évident que, dans ce dernier cas, dont je m'occuperai plus particulièrement dans ce qui va suivre, le premier étant d'ailleurs tout aussi simple, les deux renversements successifs produits par l'objectif et par l'oculaire s'annulent, et que l'image $a'''b'''$, vue par transparence ou en épreuve positive, reste semblable à $a'b'$ ou symétrique de ab.

Orientation des taches ou du disque de Vénus sur les images du soleil. — La mesure micrométrique du centre du disque obscur de Vénus au bord le plus rapproché du soleil, effectuée directement pendant le passage, et l'heure précise à laquelle on opère cette mesure, en chaque station, sont les éléments principaux de l'observation qu'il s'agit de faire, en dehors des instants des contacts. La discussion des nombreuses observations de ce genre que l'on pourra effectuer pendant la durée du passage permettra, sans doute, de calculer avec une grande précision cette durée, et d'obtenir la trajectoire apparente de la planète sur le disque solaire.

Ces résultats semblent devoir être atteints par la méthode photographique plus sûrement et plus complétement que par toute autre, puisque les mesures micrométriques pourront être réitérées autant de fois qu'on le voudra sur les épreuves. D'un autre côté, nous dirons bientôt comment les heures seront enregistrées automatiquement;

enfin, la disposition de l'appareil permet encore de déterminer un troisième élément qui n'est point à négliger, et que les lunettes montées équatorialement ne sont pas en état de procurer aussi rigoureusement, je veux dire l'*angle de position* du centre de la planète (1).

Pour déterminer l'angle de position d'une tache du soleil que nous devions substituer, dans nos expériences, au disque de Vénus, nous aurions pu prendre, comme nous l'avions fait en Algérie, pour ligne de repère, le diamètre du soleil perpendiculaire au côté horizontal inférieur de la plaque de verre, recouverte de collodion, qui recevait l'image de l'astre. Ce côté était rodé avec soin, et la traverse des châssis sur laquelle il reposait était parfaitement dressée et horizontale, mais il m'a semblé préférable de recourir à un réticule placé au foyer de l'objectif. Ce réticule serait composé, à la manière ordinaire, de deux fils croisés à angles droits, dont l'un serait vertical et l'autre horizontal. Leur point d'intersection déterminerait l'axe optique de la lunette fixe dont la direction est réglée sur le collimateur C, et l'on réglerait, en outre, l'héliostat, de manière à amener le centre de l'image du soleil en ce point. Le fil vertical tracerait, sur cette image, un diamètre qui, s'il ne passait pas exactement par le centre, n'en fournirait pas moins une ligne de repère au moyen de laquelle, et en faisant la correc-

(1) Comme la trajectoire de Vénus sur le disque du soleil peut être considérée comme rectiligne et que son mouvement est sensiblement uniforme, cette double condition permettrait de discuter et de comparer entre elles toutes les observations des distances du centre de la planète au bord le plus voisin du soleil, mais la mesure directe de l'angle de position est, à la fois, un élément de vérification et de précision.

tion nécessaire, on parviendrait à tracer le diamètre vertical de cette image.

Il ne faut pas, toutefois, confondre ce diamètre avec celui qui correspond au plan vertical passant par le centre de l'astre ; mais je vais montrer comment on peut passer du premier de ces diamètres au second, et ensuite à celui qui correspond au méridien céleste du soleil, c'est-à-dire comment on peut déterminer, sur les images photographiques, les deux points désignés par les astronomes sous les noms de *sommet* et de *nord* du soleil.

Supposons d'abord que le phénomène ait lieu le matin ou le soir, le soir, par exemple, et dans une station de l'hémisphère boréal.

Soient : C le centre de la sphère céleste ; HPZH' le méridien du lieu de l'observation, P le pôle élevé, Z le zénith, ZCO le premier vertical ; enfin S la position du centre du soleil sur la sphère céleste à un instant déterminé (*fig.* 4).

Remarquons tout d'abord que la ligne CO représente la

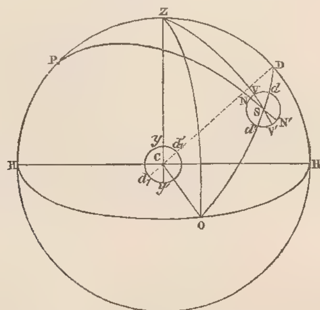


Fig. 4.

direction qu'il faut donner à l'axe optique de la lunette, et que la plaque destinée à recevoir l'image du soleil doit être

par conséquent placée dans le plan du méridien HPZH', le côté sensible tourné du côté de l'ouest O. En menant par le point S et par les points P, Z et O des arcs de grands cercles, nous déterminerons trois plans qui sont : le méridien céleste du soleil, le vertical de cet astre et le plan de réflexion défini, en effet, par le centre S que l'on considère et par la direction CO du rayon réfléchi. Les traces de ces trois plans sur le disque du soleil donnent les deux diamètres NN' et VV' dont nous voulons trouver la position sur l'image photographique, et un troisième diamètre dd' qui, étant situé dans le plan de réflexion SCO, a pour image la trace même $d_1Cd'_1$ de ce plan sur le méridien HPZH'. Or, le plan de réflexion et le premier vertical passent tous les deux par la ligne CO perpendiculaire au plan du méridien; par conséquent, CD, qui représente la direction du diamètre $d_1d'_1$ sur l'image photographique, fait avec la verticale CZ un angle égal à l'angle dièdre des deux plans ZCO et DCO ou à l'angle sphérique ZOD. Pour trouver cet angle qui déterminera sur l'épreuve la position du diamètre contenu dans le plan de réflexion par rapport au diamètre vertical, il suffit de résoudre le triangle ZSO dont le côté ZO est de 90°, et qui est entièrement déterminé par les éléments connus ou calculés du triangle PZS. En effet, dans ce dernier triangle, on connaît PZ qui est le complément de la latitude du lieu, PS qui est la distance polaire du soleil et l'angle en P qui est l'angle horaire de cet astre correspondant à l'*heure vraie* du lieu au moment où l'image a été obtenue.

On peut donc calculer le côté ZS commun aux deux triangles PZS et OZS et l'angle PZS qui est égal à 90° ±

l'angle OZS suivant que le soleil est au sud ou au nord du premier vertical.

Mais l'angle ZSO du triangle de même désignation mesure l'inclinaison du diamètre VV′ sur le diamètre dd' et détermine par conséquent la direction de VV′ sur l'image, quand d_1d_1' y a été tracé.

Enfin, dans le calcul du triangle PZS, on obtient l'angle en S en même temps que l'angle Z, ou bien l'angle des deux diamètres VV′, NN′, ce qui permet de rapporter immédiatement sur l'image la direction de ce dernier.

Nous ne proposons pas, bien entendu, de tracer effectivement toutes ces lignes sur les épreuves que nous conserverions, au contraire, parfaitement intactes ; les opérations graphiques qui se réduiraient, en définitive, à mener deux diamètres, le diamètre vertical et celui qui détermine le point nord du disque solaire, seraient remplacés par des mouvements angulaires des plaques fixées successivement sur un micromètre circulaire approprié à cette destination.

Il importerait, d'ailleurs, dans les opérations tant numériques que mécaniques, d'avoir égard au sens dans lequel doit se compter chacun des angles calculés, mais je ne crois pas devoir insister sur ce point, qui n'embarrasserait pas les astronomes chargés d'effectuer les mesures et de faire les réductions (1).

Je pourrais sans doute me dispenser aussi d'examiner le cas où le phénomène du passage de Vénus se produisant

---

(1) Voir la *Notice sur le sidérostat* dans la *Revue des cours scientifiques* du 21 mai 1868.

au milieu de la journée, la lunette fixe doit être dirigée dans le méridien ; aussi, me contenterai-je d'en dire quelques mots.

L'axe optique de la lunette se confondant alors avec la méridienne CH (*fig.* 5), le plan de l'image est à son tour dans le premier vertical, et le grand cercle HSH′ est le plan de réflexion du centre du soleil. La trace d_1d_1' de ce plan sur celui de l'image fait avec le diamètre yy_1 un angle égal à l'angle dièdre H du triangle sphérique ZSH, dans lequel on connaît ZH $= 90°$, ZS complément de la hauteur du soleil et SZH azimut de cet astre au moment où l'image a été obtenue. L'angle ZSH de ce triangle ou son supplément est en outre égal à l'angle du diamètre d_1d_1' de l'image avec le diamètre qui détermine le *sommet* du disque du soleil.

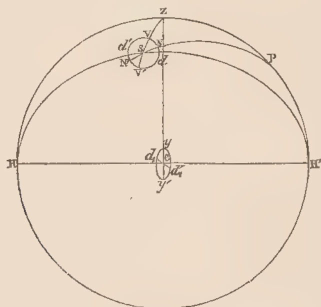


Fig. 5.

Enfin, le triangle PZS, dont on connaît les trois côtés (colatitude du lieu, distance zénithale du soleil, distance polaire de cet astre), permet de calculer l'angle du méridien céleste et du vertical du soleil, d'où l'on déduit le point

nord ou sud de l'astre. Le point nord ou le point sud étant trouvé sur chacune des images, l'angle de position d'une tache solaire ou, pour revenir à l'objet principal dont nous nous occupons, celui du centre du disque obscur de Vénus et la distance du même point au bord le plus voisin de l'image du soleil, complément de la distance de ce point au centre de cette image, seraient les coordonnées polaires au moyen desquelles on déterminerait, graphiquement ou par le calcul, la trajectoire du disque de la planète sur celui du soleil et, par suite, la durée du passage, durée déduite de la comparaison des positions du disque de Vénus relevées sur deux épreuves photographiques et des temps correspondants, pourvu que ces temps fussent assez distants l'un de l'autre.

Heures et nombre des observations. — Pour obtenir les heures des observations avec tout le degré de précision nécessaire, chaque épreuve photographique est obtenue au moyen de la chute d'un écran, déterminée par un courant électrique, dont l'action est réglée par la pendule astronomique, de minute en minute. L'état et la marche de la pendule étant parfaitement connus, par des observations méridiennes journalières faites avant le jour du passage et continuées encore après cette époque, on peut arriver aisément, croyons-nous, à garantir l'exactitude des heures pour chaque épreuve, à un dixième de seconde près, en temps absolu du lieu de l'observation. Quant au nombre des observations, on sait que, dans les stations favorisées où l'on pourra observer le passage depuis l'entrée jusqu'à la sortie de la planète, la durée du phénomène atteindra et dépas-

sera même quatre heures. A raison d'une épreuve par minute, on pourra donc obtenir jusqu'à près de 250 épreuves dont la discussion permettra, sans doute, de déterminer la durée du phénomène avec une extrême précision.

Ici se bornent les renseignements que je suis en mesure de vous donner sur un appareil resté à l'état de projet ou du moins inachevé, par suite de circonstances indépendantes de ma volonté. En déterminant, pendant l'été de 1869, la longitude et la latitude de la station que j'avais choisie pour y installer mon observatoire photographique (1) ; en préparant, dès le commencement de 1870, les différentes parties de l'appareil, je pensais m'y être pris assez longtemps à l'avance pour avoir achevé en temps utile tous les essais, toutes les expériences nécessaires. Trois étés, trois saisons favorables se sont écoulées depuis cette époque, sans qu'il m'ait été possible d'entreprendre ces expériences ; s'il m'était permis de les mettre en train et de les poursuivre avant notre prochaine session, je me ferais un devoir de vous en entretenir de nouveau, et de vous faire connaître les résultats auxquels je serais parvenu.

Dans tous les cas, permettez-moi de vous faire remarquer que la méthode d'observation que je propose, que j'ai proposée dans les premiers mois de l'année 1870, dans une lettre publiée par M. Faye, dans les *Comptes rendus des séances de l'Académie des sciences* (2), que cette méthode, dis-je, a pour caractère essentiel la *suppression de l'observateur* pendant la période critique, c'est-à-dire pendant la

---

(1) A Yseure, près Moulins (Allier).
(2) Voyez les *Comptes-rendus*, t. LXX, p. 546.

durée du passage. C'est dans l'installation de l'appareil, dans les observations méridiennes journalières et dans les expériences faites à l'avance sur des taches solaires, aux heures analogues à celles où le passage aura lieu, que l'astronome chargé de recueillir des épreuves photographiques devra apporter tout le soin et toute l'attention possibles. La situation nouvelle que les événements m'ont faite, ne me permet pas d'espérer que je puisse prendre une part active à l'observation du passage de Vénus, mais je m'estimerais heureux d'avoir pu contribuer, pour si peu que ce fût, à aider ceux qui doivent entreprendre de longs et pénibles voyages pour mesurer la parallaxe du soleil, en indiquant une méthode qui me paraît destinée à donner des résultats d'une grande précision.

PROJET

D'INSCRIPTION PHOTOGRAPHIQUE DU TEMPS

DANS L'OBSERVATION DU PASSAGE DE VÉNUS

NOTE DE

M. L'AMIRAL PÂRIS.

(Extrait des procès-verbaux des séances de la Commission du passage de Vénus ; séance du 3 décembre 1872.)

En suivant, avec tout l'intérêt qu'elles méritent, les discussions relatives au passage de Vénus, j'ai été frappé depuis longtemps de voir que, dans cette sorte de triangulation si délicate, opérée sur des bases dont les extrémités ne se voient pas entre elles, on ne s'était pas occupé encore de la manière dont les observations sont liées ; c'est-à-dire du temps exact de chacune d'elles. Cependant cet élément du temps paraît important, puisqu'il s'agit d'un phénomène mobile et de peu de durée, dont les résultats ne seraient réellement exacts que si les éléments en étaient recueillis au même instant. On aura des pendules parfaitement réglées; mais on restera toujours exposé aux incertitudes de

la sensibilité nerveuse des observateurs : quelque bien exercés qu'ils puissent être, quel que soit leur mérite personnel, quelque longues que soient les études préalables qu'ils auront pu faire, on ne peut nier que l'exactitude de nos sens soit assez restreinte et que nous devions être toujours exposés à des erreurs produites par l'état de notre santé ou par celui de nos organes.

Je pense donc que, puisque la photographie doit être avantageusement employée pour observer le passage de Vénus pendant toute sa durée, au lieu de se borner à deux contacts dont l'un incertain, il est possible d'opérer une liaison parfaite entre l'observation de la direction du phénomène et le temps précis où elle a lieu, le tout en évaluant le temps avec une précision plus grande que par l'audition d'un échappement ; en un mot, de photographier le temps, à l'instant où l'on photographie la direction ; si plus tard on mesure au millième de millimètre la distance des deux astres sur l'image photographique, n'est-il pas utile de mesurer à côté un centième de seconde, et peut-être moins, sur la photographie de l'heure, prise au même instant, par un mouvement unique?

Mais, pour obtenir un tel résultat, les pendules ordinaires ne peuvent servir, puisque celle qui bat les secondes, en transportant subitement ses aiguilles d'une graduation à l'autre, ne donne aucune fraction, et que, en faisant trotter sa petite aiguille, le chronomètre ne diviserait la seconde qu'en quatre parties; précision bien insuffisante, puisqu'elle est dépassée par celle de la sensibilité de l'ouïe.

Il faut donc une pendule dont l'aiguille se transporte autour du cadran sans éprouver de changements de vitesse,

ni produire des saccades, et je ne voyais pas comment un système mécanique, mu par un échappement, pouvait arriver à cette régularité. Je pensai d'abord au pendule conique, dont la boule décrit un cercle au bout d'un fil convenablement suspendu. Mais M. Breguet et M. Le Roy affirment qu'on ne peut compter sur l'exactitude de ce genre de mouvement, même pendant une révolution, et qu'on ne le rendrait pas suffisamment exact par de fréquentes comparaisons à une bonne pendule. M. Breguet appela mon attention sur l'exactitude des modérateurs de M. Foucault et de M. Yvon Villarceau. Mais quelque parfaits qu'ils soient, ils ne me paraissaient pas appropriés au but proposé. Heureusement, quelques conversations à ce sujet m'amenèrent à savoir que jadis Arago avait posé à M. Wagner le problème d'une aiguille à mouvement uniforme et que cette question avait été étudiée, peut-être même résolue. Je vis donc M. Wagner, qui me dit que la pendule existait, qu'elle avait paru à l'exposition de 1855, mais qu'après la mort d'Arago il l'avait conservée et qu'après avoir regretté de la voir oubliée, il l'avait donnée aux Arts-et-Métiers, où elle se trouve maintenant. M. Wagner eut la bonté de me la faire examiner ; j'ai vu son aiguille des secondes tourner avec une régularité parfaite, sans la moindre secousse, au moyen d'un mécanisme à ailettes, intimement lié à celui de l'échappement, et, par suite, d'une exactitude égale à celle du balancier. Je demandai à M. Wagner si, au lieu d'avoir deux décimètres de longueur, l'aiguille ne pourrait pas être agrandie, jusqu'à un mètre ou au delà par exemple. Il me dit que cet allongement de l'aiguille était parfaitement réalisable, et, en effet, le mou-

vement étant sans intermittences, l'inertie de l'aiguille est sans influence ; c'est un volant ajouté au reste du mécanisme, et il suffit que l'aiguille n'éprouve pas de déformation, c'est-à-dire qu'elle reste en ligne droite.

Le fait de l'existence de cette pendule à mouvement régulier une fois acquis, j'ai étudié la question que je m'étais posée, et l'espoir d'être de quelque utilité à mes confrères m'a amené, après plusieurs modifications, à présenter à la Commission la méthode suivante :

Pendant que, d'un côté, l'appareil de M. Fizeau ou celui de M. Martin serait appliqué à la lunette ou au télescope dirigé vers le Soleil, d'un autre côté un appareil photographique ordinaire serait placé à l'envers et de manière à ne pas gêner l'observateur. Cette seconde chambre noire serait dirigée en sens inverse de la lunette et viserait le cadran de l'horloge en question, qui, placé de la sorte, près de l'observateur, se trouverait éclairé en plein par le Soleil pendant toute l'observation, et recevrait par conséquent assez de lumière pour donner une épreuve instantanée. Les grands objets étant ainsi placés, il resterait à disposer les écrans fendus destinés à prendre, l'un l'image du Soleil, l'autre celle du cadran, et à les lier par un mouvement mécanique commun. Je n'ai pas fait de tracé de cette disposition, parce que je ne connais pas celle qui est adoptée par M. Martin, ni celle que M. Fizeau emploiera; mais il est évident que le mécanisme servant à produire subitement l'image du Soleil peut également être employé pour le cadran, et que les deux photographies sont faciles à réunir par le même mouvement mécanique. Je ne crois pas qu'il soit possible d'obtenir plus parfaitement la liaison

exacte de deux observations aussi différentes en elles-mêmes que celle d'une direction et celle du temps, qui, à bien dire, exigent l'emploi de deux sens différents, dont la sensibilité nerveuse est la seule liaison.

« Quant au cadran, il me semble qu'il est préférable de lui donner un grand diamètre, 1 mètre par exemple, pour que la graduation soit assez grande et surtout pour que l'appareil photographique puisse opérer une réduction, qui, en augmentant l'intensité de la lumière, favorise l'instantanéité et la netteté de l'image, de manière à fournir de bonnes mesures micrométriques. Avec 1 mètre de diamètre, chaque graduation de 1″ aurait $0^{m},052$ de long, ce qui, réduit au quart ou au cinquième, laisserait de la marge pour de bonnes mesures, en donnant de la finesse à la trace de l'aiguille. Si l'exactitude de pareilles mesures ne paraissait pas suffisante, on aurait toute facilité à en obtenir davantage, en augmentant le diamètre du cadran, ou en accélérant le mouvement par un engrenage; si, par exemple, le tour entier se faisait en 30″ ou en 15″, l'exactitude serait doublée ou quadruplée. Je crois donc qu'avec une photographie assez sensible on arriverait ainsi à mesurer le temps à un millième de seconde près, *si la photographie parvient à être jamais aussi instantanée,* et que, de plus, l'observation d'un phénomène variable serait ainsi parfaitement liée au temps, pourvu que l'empreinte de l'objet observé ne dure ni plus ni moins que celle du cadran; ce que la similitude des plaques sensibles, l'égalité des fentes et la liaison de leurs mouvements permet certainement d'obtenir. Il faudrait naturellement que l'aiguille n'éprouvât pas de flexion, suivant qu'elle serait horizontale ou verticale, ce que l'on obtiendrait

facilement en lui donnant une forme de losange, ou en la tenant par des haubans disposés comme ceux des balanciers des machines américaines. Cette rigidité permettrait de lire à ses deux bouts, pour corriger des erreurs de centrage.

« Quant à la réalisation du projet que je propose à la Commission, je crois que, bien que pour le passage de Vénus l'élément du temps soit moins important que pour d'autres genres d'observations, il n'en est pas moins utile de diminuer les erreurs de l'évaluation habituelle, et c'est ce qui m'engage à demander à la Commission de faire des expériences avec MM. Fizeau, Wolf et Martin.

« Si, comme je l'espère, la liaison du temps et de la direction, c'est-à-dire celle des abcisses et des ordonnées de toute observation astronomique, se trouve opérée de la sorte, lorsqu'il s'agit du Soleil, je demanderais à essayer le même procédé pour la Lune ; bien que cet astre n'ait sans doute pas assez de lumière, pour produire une image instantanée des détails de sa surface rugueuse, je crois qu'il en émet cependant assez pour produire un disque blanc, avec des bords assez nets pour permettre de mesurer la distance de ses bords aux fils de la lunette projetés en noir sur l'image. Cela ne donnerait, il est vrai, que la moitié de l'opération des culminations : mais au moins cette partie serait plus exacte que l'observation du contact des fils avec les bords. Je ne sais si l'on est arrivé à produire des substances assez sensibles pour obtenir une image instantanée d'étoile, fût-ce l'une des plus brillantes. Si l'on pouvait y parvenir, je ne verrais aucune difficulté à appliquer aux étoiles le

même système photographique, en éclairant les fils par la réflexion intérieure d'une lumière qui les ferait se détacher en gris, sur la surface noire du ciel. Je ne présente cette remarque que parce qu'elle conduirait à des résultats utiles à la détermination des longitudes par des culminations observées aux stations; car, en supposant parfaites les positions en longitude, les temps des stations seraient liés, et, en admettant aussi la liaison exacte du temps et des observations directes, ce serait presque comme si l'observateur de Campbell voyait celui de Iokohama ou de Jérusalem, et qu'ils fissent ainsi une triangulation aussi exacte que possible.

« Tout en pensant que la proposition que j'ai l'honneur de soumettre à la Commission est applicable à d'autres cas, où le temps doit être lié à une observation instantanée ou variable, je prie mes confrères d'examiner quelle part ils croient pouvoir en tirer dans le cas présent. »

NOTE

SUR

LA TRANSFORMATION DE L'ACHROMATISME OPTIQUE

DES OBJECTIFS

EN ACHROMATISME PHOTOGRAPHIQUE

PAR

M. A. CORNU.

(Note présentée à la Commission du passage de Vénus, dans la séance du 25 janvier 1873 (1).)

Le problème que je me suis proposé et que je crois avoir résolu est le suivant :

Étant donnée une lunette astronomique achromatisée pour la vision, l'appliquer à la production d'images photographiques

(1) La méthode qui fait l'objet de cette Note avait déjà été signalée à la Commission par M. Fizeau, au nom de M. Cornu, dans la séance du 7 décembre 1872, comme l'indique le passage suivant du procès-verbal de cette séance :

« M. Fizeau expose les recherches auxquelles il s'est livré, et entre autres celles qui sont relatives aux objectifs achromatiques. Il s'est adressé à

d'une perfection comparable à celle des images optiques, sans aucune modification coûteuse ou qui la rende ultérieurement impropre à sa première destination.

Il est bon de rappeler que toutes les lunettes astronomiques d'ouverture angulaire petite, c'est-à-dire inférieure à $\frac{1}{12}$ ou $\frac{1}{15}$, sont susceptibles de produire des images photographiques d'une netteté très-satisfaisante pour une foule d'usages.

Il suffit, comme l'ont indiqué il y a bientôt trente ans MM. Fizeau et Foucault, de rechercher ce foyer chimique, généralement situé en arrière du foyer optique, à une petite fraction de la distance focale principale.

Je citerai, parmi les vérifications de cette règle pratique, outre mes observations sur trois lunettes de petites dimensions ($42^{cent.}82$ et $1^{m}10$ de distance focale), l'exemple du grand équatorial de l'Observatoire de Cadix construit récemment par MM. Brunner. L'objectif, de $30^{cent.}$ d'ouverture et de 5 mètres de distance focale, a fourni immédiatement des épreuves photographiques de la Lune, assez parfaites pour que M. Rutherfurd ait félicité MM. Brunner de ce résultat obtenu avec leur instrument par M. Pujazon, directeur de l'Observatoire de Cadix.

M. A. Cornu, professeur à l'École polytechnique, qui, par la théorie, est parvenu à obtenir l'achromatisme des objectifs, au moyen de calculs dont l'application est certaine. Il peut transformer une lunette quelconque en une lunette photographique, par une disposition rationnelle dont il donne la formule. M. Fizeau prend acte de ce fait au procès-verbal de la Commission. Il rendra compte plus tard du procédé de M. Cornu. Cette méthode permettra de corriger les erreurs de lunettes, qui ont parfois des changements de foyer de $0^{m}02$ à $0^{m}03$. Il y aura quelques difficultés de placement des miroirs; mais on peut se regarder, dès à présent, comme certain de réussir. »

Ainsi les lunettes astronomiques réglées pour la vision peuvent déjà servir, lorsqu'on prend soin de rechercher attentivement le foyer chimique, à la production d'images photographiques relativement bonnes. Toutefois, lorsqu'on applique un fort grossissement aux clichés photographiques obtenus au foyer chimique de ces objectifs, on reconnaît que leur finesse est loin de valoir celle des images optiques; le défaut de netteté tient évidemment à ce que les radiations les plus réfrangibles, visibles et invisibles (ultra-violettes), ne forment pas toutes leur foyer dans un même plan, comme cela a lieu sensiblement pour les rayons visibles. Dans la pratique de la construction des objectifs photographiques, les opticiens arrivent à un achromatisme qu'ils appellent *bleu* et qui satisfait assez bien aux exigences de la photographie, mais ils n'ont aucune règle précise et n'arrivent qu'à des résultats incertains.

Depuis, M. Rutherfurd, en Amérique, a résolu le problème de l'achromatisme chimique des lunettes : il commença par modifier la courbure des verres des objectifs de façon à sacrifier l'achromatisme optique à l'achromatisme photographique.

Pour écarter ce grave inconvénient, de rendre un objectif impropre aux observations ordinaires, M. Rutherfurd employa un second moyen, qui consiste à ajouter une troisième lentille de flint, de courbures spéciales, étudiées de façon à corriger l'aberration chromatique des rayons chimiques.

Cette seconde solution a donné à son auteur de très-beaux résultats, spécialement pour la photographie de la Lune : mais elle exige l'addition d'une troisième lentille qui

doit avoir, comme pureté de matière et comme taille des surfaces, la même perfection que les deux autres : c'est donc une modification coûteuse, exigeant une matière très-belle, des essais ou des calculs longs et difficiles.

Je crois qu'on peut résoudre le problème d'une manière beaucoup plus simple et beaucoup moins dispendieuse. Sans entrer ici dans aucune des considérations théoriques, ni dans le détail des expériences qui m'ont conduit à cette solution, et que je compte développer dans un Mémoire spécial, je me contenterai de donner ici les conditions pratiques propres à en assurer le succès.

Étant donné un objectif achromatique qu'on veut employer à la production d'images photographiques aussi parfaites que possible, on commencera par déterminer son foyer chimique le *meilleur,* c'est-à-dire le plus *net.* On est assuré, à cause du peu de différence des verres employés en optique, de le trouver en arrière du foyer optique (le flint étant en dedans) à une distance égale à environ un demi pour cent de la distance focale principale.

On corrigera l'aberration chromatique des rayons chimiques en séparant la lentille de crown et de flint d'une petite quantité, égale à très-peu près à la différence entre la distance focale optique et la distance focale chimique la meilleure. Cette opération raccourcit le foyer d'environ $\frac{1}{20}$: dès lors on doit diaphragmer l'objectif d'environ $\frac{1}{20}$ de son diamètre, pour conserver la même ouverture angulaire.

Il reste à faire quelques tâtonnements pour obtenir la distance des verres qui donne les meilleures images. Cette distance est légèrement variable avec le degré d'achroma-

tisme primitif. Mais la règle précédente est un guide bien utile pour éviter des pertes de temps.

Ces règles n'ont pas seulement été déduites de la théorie : elles ont été appliquées à trois lunettes de foyers différents, que j'avais à ma disposition. L'essai le plus concluant a été obtenu avec la plus grande d'entre elles, dont l'objectif a 10 centimètres d'ouverture et $1^m,10$ de foyer.

Les épreuves photographiques (sur collodion ou sur plaques daguerriennes) de mires éloignées ou du disque solaire sont remarquables comme finesse, car elles peuvent supporter un grossissement supérieur à celui de l'oculaire de la lunette ; de sorte que leur netteté est entièrement comparable à celle de l'image optique.

Quant aux aberrations latérales, elles ne peuvent être décelées que par un examen micrométrique minutieux des clichés ; il est facile de voir que ces aberrations, nulles sur l'axe, doivent être du même ordre que celles des images de M. Rutherfurd ; car l'écartement des verres équivaut, comme variation d'épaisseur du système objectif, à l'addition d'un troisième verre.

Mais comme, dans tous les cas, on ne peut pas compter *à priori* sur l'absence absolue des aberrations, lorsqu'on fait avec une lunette quelconque des observations en dehors de l'axe, il est nécessaire de faire l'examen et de dresser une table de correction des aberrations latérales ; la méthode que je viens d'indiquer n'apporte donc aucune difficulté nouvelle et me paraît l'emporter en simplicité sur toutes les méthodes proposées pour atteindre le même but.

PROJET

D'APPAREIL PHOTOGRAPHIQUE

POUR L'OBSERVATION DU PASSAGE DE VÉNUS

PAR

MM. C. WOLF ET AD. MARTIN

(Présenté à la Commission du passage de Vénus, dans sa séance du 15 février 1873 (1).)

Nous avons été chargés par la Commission du passage de Vénus, d'étudier la construction d'un appareil photographique pouvant donner, par amplification, une image du Soleil de cinq à six centimètres de diamètre, présentant une netteté de bords suffisante pour que ce diamètre puisse être mesuré avec une approximation d'une demi-seconde d'arc. Nous avons l'honneur de présenter à la Commission le résultat de nos études.

---

(1) Cette communication de MM. *Wolf* et *Martin* et la communication suivante de M. *Janssen* sont placées ici dans l'ordre même où elles sont mentionnées au procès-verbal de la séance du 15 février 1873.

L'appareil que nous proposons d'employer pour l'observation photographique du passage de Vénus sur le Soleil (fig. 1) se compose de trois parties principales : 1° un miroir optiquement plan A, seule pièce mobile de l'appareil, destiné à renvoyer les rayons solaires dans une direction horizontale coïncidant avec le méridien, et du nord vers le sud pour une station boréale, du sud vers le nord pour une station australe ; 2° un instrument réflecteur ou réfracteur (B et C), donnant une première image du Soleil de 10 à 15 millimètres de diamètre ; 3° un objectif photographique D, qui reprend les rayons provenant de cette première image et en forme une image agrandie du disque solaire sur la plaque sensible E.

L'emploi d'un miroir plan ou sidérostat présente pour la photographie astronomique de très-grands avantages, qui l'ont fait adopter par les Américains et plusieurs astronomes anglais. Il rend fixes toutes les autres pièces de l'appareil, et permet de leur donner une stabilité qu'il est impossible d'obtenir d'une monture équatoriale. On peut dès lors donner à l'appareil optique toute la longueur nécessaire pour que les faisceaux lumineux ne forment jamais que de très-petits angles, et l'on élimine ainsi la principale difficulté qui se rencontre dans la construction des photohéliographes, tels que celui de M. Warren de la Rue. L'appareil d'agrandissement de l'image focale, lorsqu'il doit être porté par une lunette ou un télescope monté équatorialement, est forcément de dimensions très-restreintes, et le constructeur se trouve en face d'une difficulté presque insurmontable, celle d'obtenir l'agrandissement,

sans déformation, avec un système optique de très-court foyer.

L'un de nous a signalé depuis longtemps un second avantage très-précieux du sidérostat : c'est le seul appareil qui permette de déterminer avec précision les angles de position; ce sera donc le seul appareil avec lequel on pourra faire une observation complète de Vénus sur le disque du Soleil. Il suffira pour cela que la direction de l'axe optique de l'appareil fixe puisse être déterminée rigoureusement par rapport au méridien et à l'horizon, et que l'image photographique soit orientée par rapport à une ligne fixe, horizontale par exemple. Nous donnerons plus loin les procédés de réglage qui permettront de satisfaire à ces conditions.

L'irrégularité des mouvements du miroir plan est sans influence aucune sur la détermination de l'angle de position. Les seules conditions auxquelles il doit satisfaire sont de rester plan (ou même, pour parler plus exactement, de conserver un rayon de courbure constant) et, en second lieu, d'être monté assez solidement pour n'éprouver aucune vibration pendant l'opération photographique.

Nous avions à démontrer qu'un miroir optiquement plan peut rester plan lorsqu'il est soumis, même pendant un temps assez long, à l'action directe des rayons solaires. Nous rappellerons d'abord l'expérience déjà ancienne, faite par M. Ad. Martin, sur le miroir du sidérostat de L. Foucault : exposé pendant une heure aux rayons d'un soleil d'été, avant l'argenture, le miroir a conservé sa surface optiquement plane. Nous avons fait la même vérification sur l'appareil photographique complet : par un beau soleil, nous dirigions le miroir vers une mire composée de lignes

fines horizontales et verticales, les autres parties de l'appareil enfermées dans une chambre obscure restant à température constante. Le foyer n'a point été modifié par une longue exposition au soleil, et l'image n'a présenté aucune trace d'astigmatisme. D'où il faut conclure que le rayon de la courbure du miroir n'a pas varié et que sa surface ne s'est pas cambrée en affectant une forme cylindrique.

On pourrait craindre encore cependant qu'un miroir formé d'un verre moins homogène que celui du sidérostat, travaillé plan à une température moyenne de 10° à 15°, n'affectât une courbure sensible, lorsqu'il sera exposé à la chaleur des régions australes pendant l'été ou au froid intense de l'hiver de Pekin. Il faudra donc soumettre les miroirs à des températures extrêmes pour s'assurer que leur surface ne présente pas d'astigmatisme ; en second lieu, l'observateur devra déterminer, dans chaque station, la valeur angulaire des parties linéaires de l'image photographique, dans des circonstances identiques à celles de l'observation du passage, et à des températures variées. Nous en donnerons les moyens en leur lieu. Enfin, et c'est là le point capital, dans le procédé opératoire que nous proposons, le miroir n'est soumis à l'action directe des rayons solaires que pendant un temps extrêmement court, quatre ou cinq secondes, à chaque prise d'une image. Quel que soit donc le degré de trempe du verre, il n'est pas à craindre que, protégé par l'argent qui réfléchit presque toute la chaleur incidente, il puisse, pendant un si court espace de temps, s'échauffer assez pour changer la forme de sa surface.

Pour donner à ce miroir une stabilité suffisante, nous le montons, comme celui du sidérostat de L. Foucault, dans

une monture azimutale, mais réduite en hauteur au demi-diamètre du miroir. Elle est formée d'un plateau en fonte de fer avec deux montants verticaux de 16 centimètres, portant les coussinets dans lesquels reposent les tourillons du barillet du miroir. Ce plateau tourne autour d'un centre sur un socle en fonte scellé sur un pilier en maçonnerie.

La durée d'exposition de la plaque sensible étant une très-minime fraction de seconde, nous laissons le miroir immobile pendant l'opération photographique. Et il suffit pour le régler à chaque épreuve de lui donner deux mouvements rectangulaires, l'un autour du pivot vertical du plateau, à l'aide d'une couronne dentée fixée à ce plateau et d'une vis tangente mise en action par une manivelle; l'autre autour de son axe horizontal, à l'aide d'une deuxième vis agissant sur un demi-cercle denté, fixé normalement sur le fond du barillet et centré sur l'axe des tourillons.

Un assistant est préposé à ces deux mouvements du miroir; il est posté au nord de l'appareil et fait face au sud (dans une station de l'hémisphère nord). La position à donner au miroir lui est indiquée à chaque instant par un chercheur de forme spéciale. Les deux montants du support du miroir sont prolongés par deux autres montants plus légers, lesquels portent, à 50 centimètres au-dessus de l'axe horizontal du miroir (1), un second axe parallèle au premier et situé dans le même plan vertical. Au milieu de ce second axe est fixé un petit miroir circulaire, à peu près plan, de

(1) Cette grande hauteur n'est nécessaire que pour les stations de l'hémisphère austral, où le soleil s'élèvera à 75° au-dessus de l'horizon pendant le passage.

8 centimètres de diamètre. Ce deuxième miroir suit tous les mouvements du premier, et lui reste constamment parallèle, grâce à un parallélogramme articulé dont les deux petits côtés constituent des manivelles fixées aux tourillons correspondants, et dont le grand côté forme la bielle qui réunit ces manivelles. Par cette disposition, pendant que le grand miroir reste masqué, le petit miroir réfléchit visiblement les rayons solaires dans une direction parallèle à celle que leur imprimerait l'autre; l'assistant agit sur les deux manettes de manière à amener ces rayons réfléchis à traverser un petit objectif immobile *o* fixé au-dessus de l'appareil photographique et à donner l'image solaire au centre d'une mire *m* réglée à l'avance.

Nous avons employé, dans notre appareil d'essai, comme système convergent donnant la première image solaire, un télescope à miroir argenté de 21 centimètres d'ouverture, percé en son centre et monté en forme de Cassegrain, que M. Ad. Martin avait construit dans un tout autre but. Disons tout de suite qu'à ce télescope on pourra substituer, sans modification essentielle de l'appareil, soit un télescope newtonien de L. Foucault, soit un objectif convenablement achromatisé. M. Ad. Martin s'occupe en ce moment de la construction des objectifs aplanétiques pour les rayons chimiques : nous avons l'honneur de présenter à la Commission un semblable objectif de 30 centimètres de foyer, dont les courbes servent actuellement de type pour la construction d'un objectif de 4 pouces d'ouverture et de $1^{m}50$ de distance focale.

L'emploi du miroir percé, à défaut d'objectif convenable,

présente cet avantage que tout l'appareil peut être solidement fixé sur un banc de fonte horizontal scellé sur deux piliers en pierre. Si l'on voulait faire usage du télescope newtonien, il faudrait ajouter à ce banc une branche latérale, en retour d'équerre, qui porterait le système amplificateur et la petite chambre photographique.

Nous avons tenu d'ailleurs à purger l'emploi du télescope à miroir percé d'une objection, fondée sur la présence du petit miroir plan, qui, formant écran sur le milieu du miroir principal, en supprime la partie centrale et altérerait les images. La théorie de la diffraction, appliquée au cas d'une ouverture circulaire, montre que, si l'on supprime par un écran circulaire la portion centrale du faisceau parallèle incident, les anneaux se resserrent; d'où il suit que le pouvoir optique d'un miroir parabolique augmente lorsqu'on réduit sa surface utile à un anneau. C'est précisément ce que l'expérience avait appris à M. Dawes, l'astronome anglais qui s'est le plus occupé des étoiles doubles (1). C'est ce que nous avons aussi vérifié directement à l'aide du plus parfait des miroirs que nous a laissés L. Foucault, celui du petit télescope de 20 centimètres d'ouverture et de 1 mètre de longueur focale. Par un diaphragme de 14 centimètres d'ouverture, le pouvoir optique de cet instrument est réduit à une seconde d'arc, et on le dirige vers une mire éloignée dont les blancs et les noirs, égaux entre eux, sous-tendent ce même angle d'une seconde. L'œil appliqué à l'oculaire distingue les traits de la mire, mais avec un peu de peine. Si l'on place

(1) Rev. W. R. Dawes, *Catalogue of micrometrical measurements of double stars*, Memoirs of the R. A. Society, t. XXXV.

à l'orifice du télescope un diaphragme central de 10 centimètres de diamètre, la définition des traits devient beaucoup meilleure. Et l'on ne peut attribuer cet effet à ce que l'aberration, résultant de la trop grande proximité de la mire, est diminuée par le diaphragme central. Car, si on la réduit bien davantage en diaphragmant l'ouverture à 10 centimètres par son pourtour, les traits cessent de pouvoir se distinguer. Cette expérience présente encore ce caractère frappant, bien propre à établir que le pouvoir optique ne dépend nullement de la quantité de lumière renvoyée par le miroir : on y voit le pouvoir optique augmenter lorsqu'on diminue la quantité de lumière.

Le télescope à miroir percé est disposé de manière à donner l'image focale du Soleil à un centimètre à peu près au-delà du miroir ; ce qui permet de faire agir dans le plan focal l'appareil qui doit intercepter les rayons lumineux, sans que le faisceau incident soit altéré par lui.

Vient ensuite le système amplificateur : nous avons fait usage, jusqu'à nouvel ordre, d'un objectif photographique de Dallmeyer, 1/4 de plaque ; nous sommes assurés maintenant de trouver à Paris des objectifs au moins aussi parfaits et d'un prix beaucoup moindre.

L'image solaire focale a 12 millimètres de diamètre ; le système amplificateur placé à 15 centimètres de cette image donne un disque de 60 millimètres à la distance de 1 mètre environ. Le grossissement par l'amplificateur est donc de 5 fois. Nous nous proposons de le diminuer encore, en employant soit un objectif de $1^{m}50$ de foyer, soit un miroir de

1^m^80 (1), au lieu du miroir actuel de 1^m^28. Dans ce dernier cas, l'amplification est réduite à 3,5.

Entre l'objectif amplificateur et l'image agrandie, se forme une image réelle du petit miroir du télescope. C'est là qu'il faut placer un écran *g*, dont l'ouverture soit juste égale à cette image du miroir ; on peut dès lors supprimer complétement le tube du télescope : aucun rayon étranger à l'image n'arrivera sur la plaque sensible. Si l'on fait usage d'un télescope newtonien ou d'un objectif, ce diaphragme doit être placé au lieu où l'objectif amplificateur donne une image réelle du miroir ou de l'objectif : c'est, à proprement parler, l'anneau oculaire de l'instrument.

Les deux miroirs du télescope, le système amplificateur et le châssis qui reçoit la plaque photographique sont tous portés par des pièces en fonte de fer *de même modèle*, et susceptibles de rectification. Ces supports (fig. 2) se composent : 1° d'un cadre rectangulaire de 31 centimètres de côté, venu à la fonte avec un patin que l'on dresse à la face inférieure et qui se fixe par des boulons sur le banc de fonte ; 2° d'un second cadre qui reçoit le miroir ou l'objectif ou le châssis, et qui se fixe au premier par quatre vis de réglage à tête molletée, entourée de ressorts à boudins, et par quatre vis butantes.

Il s'agit maintenant de régler les diverses parties de l'appareil optique de telle façon que les axes de chacune d'elles soient en coïncidence, et que la plaque sensible soit per-

(1) Ce miroir non percé de 1^m^80 de distance focale est en construction.

pendiculaire à cette direction commune; il faudra ensuite que cet axe soit horizontal et coïncide avec le méridien.

Le banc de fonte ayant été exactement dressé et les cadres rectangulaires qui servent de supports aux miroirs et aux lentilles ayant les mêmes dimensions, les centres des diverses pièces de l'appareil sont, par construction, placés en ligne droite; il suffit donc de régler l'inclinaison de chacune d'elles au moyen des quatre vis réglantes. A cet effet, un support auxiliaire, pouvant se fixer à l'extrémité du banc, porte un œilleton qui se trouve sur la ligne médiane de ce banc et à la hauteur des centres des cadres. On enlève de son support l'objectif amplificateur; puis, visant à travers l'œilleton, on agit sur les vis du petit miroir plan jusqu'à ce que l'image de l'œilleton apparaisse au centre du miroir lui-même. Sa surface est alors perpendiculaire à la ligne médiane du banc. On éclaire ensuite le miroir parabolique par la lumière du ciel, et l'on fait varier son inclinaison jusqu'à ce que l'image du trou de ce miroir, vu dans le petit miroir plan, paraisse exactement centrée.

C'est alors le tour de la plaque sensible. Dans le châssis qui doit la recevoir, on place une lame de glace à faces parallèles, et l'on fait en sorte que l'image de l'œilleton, vivement éclairé par une lampe latérale et un petit plan de verre incliné à 45° et vu sur la lame de glace, se projette sur l'image qu'en donne le petit miroir du télescope.

Enfin on met en place l'objectif photographique. Il sera réglé lorsque les images de l'œilleton éclairé, données par les réflexions sur les surfaces des lentilles qui le composent, seront en ligne droite les unes avec les autres.

Il est très-important, comme nous avons dit, d'assurer la coïncidence de l'axe optique de l'appareil avec l'horizon et avec le méridien. A cet effet, nous proposons de placer l'appareil photographique au sud de l'instrument méridien, qui doit être installé dans chacune des stations, et sur le prolongement de sa méridienne, la mire pouvant sans inconvénient être placée au nord. (Ce serait le contraire pour une station de l'hémisphère sud.) Le châssis de la plaque sensible recevrait, au lieu de cette plaque, un cadre métallique portant deux gros fils en croix, que l'on éclairerait vivement et que l'on pourrait viser avec la lunette méridienne, dont l'azimut est exactement déterminé. On ferait alors varier l'azimut du banc de fonte de manière à le réduire à zéro, ou bien on en déterminerait de temps en temps la valeur. Inutile de dire que, pour cette opération, on enlève le miroir plan du porte-lumière. Le nivellement du banc assurera en même temps l'horizontalité de l'axe.

Nous abordons maintenant la question de la mise au point de la plaque sensible et la détermination de la valeur angulaire de ses parties linéaires.

Remarquons d'abord que notre appareil a la propriété de pouvoir se mettre au point sur l'infini par lui-même, sans l'intervention d'aucune mire extérieure, astre ou objet lumineux terrestre. Au lieu de la plaque sensible, on place un réticule que l'on éclaire fortement et que l'on vise avec un oculaire nadiral. Le miroir plan étant tourné de manière à réfléchir dans l'appareil les rayons qui en sortent, une image du réticule viendra se former auprès du réticule lui-

même, et les fils seront au point pour l'infini quand on pourra les voir nettement en même temps que leur image. Pour le foyer chimique, le seul qui nous intéresse ici, on opérera de même : une des moitiés de la plaque sensible sera remplacée par une lame de verre noircie, sur laquelle on aura tracé une série de traits transparents et qu'on éclairera fortement par derrière avec une lumière photogénique. L'image de ces traits viendra se former sur la moitié conservée de la plaque sensible, et, par des tâtonnements réguliers, on amènera l'ensemble des deux demi-plaques dans le plan où se formera l'image la plus nette.

Avec le sidérostat tel que nous le possédons, il n'est pas possible de produire cette autocollimation de l'appareil. Nous avons donc dû chercher chaque jour la position du foyer par les tâtonnements ordinaires, en nous aidant le plus souvent d'un verre bleu ou violet.

Sur des mires placées soit au foyer du télescope, soit à 70^{m} ou 80^{m}, aux limites de la terrasse du jardin de l'Observatoire, nous avons constaté que notre appareil donne des images photographiques d'une grande netteté; que la netteté est la même dans tous les points du champ, bien au-delà des limites qu'y occuperait l'image solaire.

Pour nous assurer si l'appareil amplificateur introduit dans les images une déformation sensible, nous avons photographié, sur plaque d'argent, l'image d'une mire vivement éclairée, portant des intervalles noirs et blancs équidistants. Cette mire, qui a appartenu à L. Foucault, a été tracée par Froment sur verre argenté. Nous avons l'honneur de mettre sous les yeux de la Commission l'épreuve photo-

graphique, presque instantanée, sur laquelle les mesures ont été prises.

Pour faire ces mesures, a été placée la plaque daguerrienne verticalement sur le chariot d'une machine à diviser, devant l'objectif d'un microscope micrométrique fixé horizontalement sur un support immobile. Le grossissement est d'environ soixante fois; le tour de vis du microscope correspond à $0^{mm}288$ et le tambour est divisé en soixante parties : $1^p = 0^{mm}0048$.

L'éclairement est obtenu à l'aide d'une lampe et d'une lentille convergente portée par le tube du microscope; l'incidence des rayons est à peu près de 45°. Dans ces conditions, les traits noirs et blancs se détachent très-vigoureux et très-nets, ce qui n'a pas lieu au même degré par un éclairement normal.

On s'assure d'abord, en promenant la plaque devant le microscope à l'aide de la machine à diviser, que le mouvement de translation s'opère dans un plan perpendiculaire à l'axe optique du microscope. Cela fait, on amenait successivement les diverses parties de l'image devant ce microscope, et, avec la même portion de la vis micrométrique, on mesurait les valeurs successives l des intervalles de la mire par groupes de trois traits blancs et noirs. Chaque nombre inscrit dans la première colonne du tableau (page 285) résulte de dix pointés.

Pour faire ressortir de ces nombres l'existence d'une déformation des images, il faut les traiter comme les pointés successifs faits sur les traits d'une règle divisée dont on veut déterminer les erreurs de graduation. Soit φ la moyenne des valeurs l des intervalles mesurés, qui représente rigoureuse-

ment la valeur que devrait avoir chacun d'eux, si l'intervalle des deux traits extrêmes était divisé en n parties égales. Appelons $\varepsilon_1, \varepsilon_2 \ldots \varepsilon_{n-1}$ les corrections des traits 1, 2.... n—1, celles des traits o et n étant nécessairement nulles. Nous aurons pour la série des intervalles mesurés :

$$\begin{aligned} l_1 &= \varphi + \varepsilon_1 - \varepsilon_0 \\ l_2 &= \varphi + \varepsilon_2 - \varepsilon_1 \\ l_3 &= \varphi + \varepsilon_3 - \varepsilon_2 \\ &\ldots\ldots\ldots \\ l_{n-1} &= \varphi + \varepsilon_{n-1} - \varepsilon_{n-2} \\ l_n &= \varphi + \varepsilon_n - \varepsilon_{n-1} \end{aligned}$$

d'où l'on conclut, ε_0 et ε_n étant nuls :

$$\begin{aligned} \varepsilon_1 &= l_1 - \varphi \\ \varepsilon_2 &= l_2 - \varphi + \varepsilon_1 \\ \varepsilon_3 &= l_3 - \varphi + \varepsilon_2 \\ &\ldots\ldots \\ \varepsilon_{n-1} &= l_{n-1} - \varphi + \varepsilon_{n-2} \end{aligned}$$

La deuxième colonne du tableau contient les valeurs de $l-\varphi$, la troisième celles de ε exprimées en parties du micromètre; la quatrième donne ces mêmes corrections des traits successifs exprimées en millimètres.

l	$l-\varphi$	ε	ε^{mm}
571p66	+0p60	+0,60	+0,0029
569,28	−1,78	−1,19	−0,0057
572,40	+1,34	+0,15	+0,0007
576,40	+5,34	+5,48	+0,0263
565,89	−5,17	+0,31	+0,0015
571,84	+0,77	+1,08	+0,0052
569,90	−1,16	−0,08	−0,0004
568,16	−2,90	−2,99	−0,0143
572,03	+0,97	−2,02	−0,0097
566,66	−4,40	−6,43	−0,0308
575,45	+4,38	−2,04	−0,0097
572,81	−1,74	−0,30	−0,0014
567,61	−3,45	−3,75	−0,0180
572,34	+1,28	−2,48	−0,0120
571,33	+0,26	−2,21	−0,0106
572,12	+1,06	−1,15	−0,0055
572,22	+1,15	0,00	0,0000
$\varphi=$ 571,0647			

Remarquons maintenant que, l'image étant également nette en tous ses points et bien centrée sur la plaque, la déformation, si elle a lieu, ne peut être que symétrique de part et d'autre du milieu de l'image et, par conséquent, qu'elle doit augmenter ou diminuer progressivement tous les intervalles à partir de celui du milieu ; que par suite les signes et les grandeurs des ε doivent suivre une loi régulière, étant tous négatifs pour la première moitié et positifs pour la seconde, si la déformation a pour effet de rétrécir l'image vers les bords, la marche étant inverse si l'image est au contraire élargie vers les bords (1). De

(1) Les signes admis ici pour les corrections s'appliquent au cas où l'on considère, ainsi que nous l'avons fait, l'image daguerrienne comme une règle

plus, les grandeurs absolues doivent se correspondre dans les deux moitiés. Toute autre marche des corrections des traits successifs ne pourrait être que le résultat ou des erreurs de pointés ou des inégalités existantes dans la mire elle-même.

L'inspection de la colonne des ε semble bien indiquer une prédominance des signes + dans la première moitié, des signes — dans la seconde; d'où il suivrait que l'image est, en réalité, un peu élargie vers les bords. Mais si l'on remarque que les grandeurs absolues des corrections ne se correspondent pas dans les deux moitiés, la seule conclusion légitime à laquelle on sera conduit, sera celle-ci : que les erreurs provenant de la déformation, si elle a lieu, sont presque complétement masquées par les erreurs de pointé et les inégalités de la mire elle-même.

Or, au point de vue des mesures à prendre pour obtenir la distance du centre de Vénus au centre du Soleil, ce qui importe, comme dans toute observation astronomique, ce n'est pas tant l'absence totale de déformation de l'image que la petitesse de cette déformation et des corrections qui en résultent, afin qu'un léger défaut de centrage de l'image solaire n'altère pas la loi générale et simple des corrections à apporter aux mesures directes. On voit que nos images satisfont à cette condition essentielle, et que les corrections qu'elles pourront avoir à subir sont

---

qui devrait être divisée en parties d'égale longueur. S'il s'agissait d'une épreuve solaire sur laquelle on voulût fixer la position d'un point par des mesures linéaires de distances aux bords, les signes de ces corrections devraient être renversés.

de même ordre de grandeur que celles qu'admettent les astronomes pour les vis micrométriques.

La détermination de la valeur angulaire des dimensions linéaires de l'image est une opération des plus délicates pour tous les appareils photographiques. Elle ne peut encore être faite, comme la mise au point et quel que soit l'appareil, que par la photographie. Une mire terrestre suffisamment éloignée ne pourrait être assez vivement éclairée pour donner des images nettes et aisément mesurables. Si elle est rapprochée, la conversion des nombres trouvés en ceux qui correspondraient à une distance infinie, exigerait la mesure à peu près impraticable des distances focales des éléments de l'appareil optique.

Il faut obtenir cette valeur directement et en bloc pour tout l'appareil. Or il n'existe pas, à notre connaissance, d'autre procédé que celui qu'a proposé M. Faye depuis longtemps et qu'on peut employer comme il suit.

Sur une même plaque sensible, on produit plusieurs images successives d'un même bord du Soleil, à des intervalles de temps déterminés avec la précision d'un centième de seconde. C'est ce que rend très-facile l'emploi de l'interrupteur de lumière dont nous parlerons tout-à-l'heure; il peut passer en effet plusieurs fois de suite à travers le faisceau lumineux dans un intervalle de temps très-court, moins d'une seconde même, et chaque fois enregistrer électriquement le moment précis de l'action photographique. En même temps, le volet du châssis porte-plaque avance peu à peu devant la plaque sensible, d'un quantité égale à celle dont marche le Soleil, de manière à recouvrir les parties

déjà impressionnées. Ce procédé n'exige que la stabilité très-grande de tout l'appareil, et c'est là précisément la qualité qui caractérise celui que nous proposons. On obtiendrait, sur une de nos plaques de 8^{cm} de côté, douze images d'un même bord du Soleil à 5^{mm} d'intervalle l'une de l'autre, en laissant 10^{s} de temps entre deux impressions successives.

La mise au point de la plaque sensible et la valeur angulaire des distances mesurées sur cette plaque changent avec la température, par suite de la dilatation des supports métalliques et des changements de courbure du miroir parabolique. Le procédé d'autocollimation pour la mise au point, l'emploi des images successives du Soleil pour la seconde détermination, donneront des moyens commodes pour construire des tables de ces deux quantités en fonction de la température de l'appareil. Cette température sera le mieux déterminée par l'usage d'un thermomètre métallique, formé d'une règle de cuivre, de même longueur que le banc, fixée latéralement à ce banc par une de ses extrémités, et portant à son bout libre un vernier.

Ce n'est pas une des moindres difficultés du procédé photographique d'observation du passage de Vénus, que cette variation continuelle des deux éléments dont je viens de parler. Et il n'est pas d'appareil qui y échappe, puisque la liaison des pièces de l'instrument est nécessairement obtenue à l'aide d'un métal dilatable. Il faudra donc, pendant l'opération, consulter constamment le thermomètre métallique et en enregistrer les indications avec l'heure de l'observation, d'abord pour maintenir la mise au point,

puis pour en conclure plus tard la valeur angulaire à employer dans les réductions (1).

Il est donc de la plus haute importance de préserver tout l'appareil, quel qu'il soit, des variations brusques de température. C'est pourquoi nous enveloppons toutes les parties de celui que nous proposons d'un abri en bois mince, qu'il sera bon de faire double. Nous avons déjà parlé de la nécessité de protéger aussi contre la chaleur solaire le miroir de l'héliostat et sa monture. L'enveloppe de ce miroir consistera simplement en une sorte de lanterne en tôle ou même en carton, montée sur le pilier de pierre et pouvant s'ouvrir sur toute une moitié de son pourtour.

Cette enveloppe et celle du reste de l'appareil peuvent être construites assez solidement pour suffire, en temps ordinaire, à protéger toutes les pièces délicates contre les intempéries de l'air. En cas de gros temps, il faudra recouvrir le tout d'une toile solidement fixée par quelques cordages.

Au moment de prendre une épreuve, l'assistant, ayant réglé la direction du miroir de l'héliostat à l'aide du chercheur, démasque rapidement ce miroir et le recouvre aussitôt. C'est le premier mouvement qui détermine automatiquement l'accès de la lumière à la plaque sensible. L'obturateur à fente *f*, figuré à part (fig. 3) est maintenu à l'une des extrémités de sa course par un cliquet, que déclanche un électro-aimant, lorsque le circuit de sa pile est fermé par la portion mobile de l'enveloppe,

(1) Le meilleur procédé pour maintenir la mise au point serait de faire varier la position du télescope ou de l'objectif, comme le fait M. Rutherfurd.

qui, arrivée au bout de sa course, bute contre un bouton de sonnette électrique. L'obturateur a la forme d'un pendule, suspendu à un axe qu'une vis fait avancer ou reculer, afin d'amener le plan d'oscillation exactement dans le plan focal du télescope. La fente a 2^{mm} de large. Sa vitesse maxima, résultant d'un écart de 7^{cm}, est de 60^{cm} par seconde, mesurée par l'inscription des vibrations d'un diapason. Le temps de pose s'abaisse alors à $\frac{1}{300}$ de seconde. Mais il est nécessaire de pouvoir l'augmenter beaucoup et à volonté, suivant l'état du ciel; c'est à quoi sert le poids curseur qui glisse le long d'une tige soudée à la partie supérieure du pendule.

On peut aussi placer l'obturateur instantané de lumière dans le plan conjugué du petit miroir du télescope par rapport à l'objectif amplificateur, là où nous avons placé le diaphragme *g*. Seulement la fente doit être remplacée alors par une ouverture circulaire égale à celle de ce diaphragme.

Il ne nous reste plus à décrire que le procédé d'orientation de l'image solaire sur la plaque daguerrienne. On pourra employer soit un fil tendu immédiatement devant la plaque entre deux supports rectifiables, dont l'horizontalité sera obtenue à l'aide d'un niveau; soit une réglette horizontale qui glisserait devant le haut de la plaque et y tracerait une ligne de foi. Si l'obturateur de lumière occupe la seconde position que nous avons indiquée, on peut tendre le fil horizontal dans le plan focal du télescope.

Nous avons l'honneur de présenter à la Commission

quelques images solaires obtenues à l'aide de notre appareil d'essai. Nous les avons prises sur plaqué d'argent et non sur verre argenté par simple raison d'économie. La Commission voudra bien se rappeler que le procédé de photographie sur verre argenté, proposé par M. Martin, est complet et donne, au point de vue du poli et de la finesse des images, des résultats supérieurs à ceux qu'on obtient ordinairement sur plaqué. Les plaques ont été sensibilisées par une seule exposition à la vapeur d'une combinaison de brôme et d'iode à proportions définies, employée à l'état solide ; ce qui offre le double avantage d'obtenir une grande sensibilité et de régler les proportions des deux agents sensibilisateurs sans avoir presque à s'inquiéter de la teinte des plaques ni du temps d'exposition.

Le prix de l'appareil photographique peut être établi très-approximativement :

Miroir plan de 30 centimètres.	1 800 fr.
Miroir parabolique percé de 21 centimètres. . . .	800
Petit miroir plan de 10 centimètres.	200
Objectif amplificateur.	100
Monture de l'appareil.	1 500
Total.	4 400

On remarquera que les pièces de fonte qui servent de support sont toutes coulées sur le même modèle, et peuvent être travaillées par un mécanicien ordinaire. Seule la monture du miroir porte-lumière demande quelques soins de construction.

La substitution d'un objectif de 4 pouces au télescope percé réduirait beaucoup le prix de l'appareil, puisque, au

lieu des trois premiers articles, dont le prix total est de 2,800 francs, on aurait :

Miroir plan de 20 centimètres.	800 fr.
Objectif de 4 pouces.	500
Total.	1 300

Différence en moins : 1 500 fr.

Pour terminer cet exposé, nous demandons la permission de rappeler les phases successives par lesquelles a passé notre projet d'appareil, et de faire remarquer que, si nous avons dû adopter le procédé d'agrandissement de l'image focale, nous le réalisons par des voies toutes différentes de celles des photographes anglais. A l'origine, plusieurs membres de la Commission ont demandé à M. Martin un appareil pouvant donner une image du Soleil de 12 à 14^{cm} de diamètre. M. Martin n'a pu entrer dans cette voie, puisque elle aurait nécessité ou un objectif de très-long foyer ou une amplification impraticable. Nous avons proposé de réduire l'image à 6^{cm}, en l'obtenant sur verre argenté par le procédé de Daguerre. Cette proposition acceptée, nous pouvions la réaliser par une image directe ou par une image amplifiée. Dans une lettre que M. Wolf a eu l'honneur d'adresser à M. le président de la Commission, au mois de juillet 1872, il exposait comment, ne pouvant disposer d'un objectif de 6^{m} au moins de foyer, nous voulions employer un appareil convergent plus court et amplifier l'image quatre ou cinq fois au plus. Nous restions ainsi dans un juste milieu, cherchant une image de dimensions suffisantes pour qu'on n'ait pas à mesurer au-delà du 100e de mil-

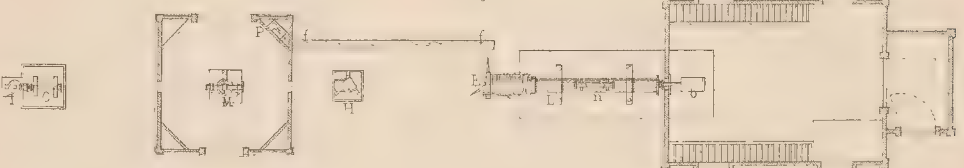
limètre, rejetant d'autre part l'amplification exagérée des photohéliographes et la demandant petite à des appareils de long foyer. C'est ce que nous a permis de faire l'emploi du sidérostat.

Dans nos travaux en commun, M. Martin s'est réservé la partie optique et l'emploi des procédés photographiques; M. Wolf n'a eu qu'à disposer l'appareil, et à en déterminer le réglage de la manière qui a paru le mieux remplir le but astronomique proposé.

Fig. 1



Fig. 2



Echelle de $(\frac{1}{100})$

A. LAUSSEDAT — APPAREIL PHOTOGRAPHIQUE DESTINÉ À L'OBSERVATION DES PASSAGES DE VÉNUS

MÉTHODE

POUR

OBTENIR PHOTOGRAPHIQUEMENT

LES CIRCONSTANCES PHYSIQUES DES CONTACTS

AVEC LES TEMPS CORRESPONDANTS

PAR

M. J. JANSSEN.

(Communication faite à la Commission du passage de Vénus, dans sa séance du 15 février 1873.)

On sait que l'observation des contacts doit jouer un grand rôle dans l'observation du passage de Vénus. Cette observation doit se faire optiquement, et présente des difficultés toutes spéciales. On comprend donc tout l'intérêt qu'il y aurait à obtenir photographiquement ces contacts. Mais les méthodes photographiques ordinaires ne peuvent conduire à ce but, car il faudrait être prévenu de l'instant précis où le contact va se produire, pour prendre la photographie du contact, et c'est la méthode optique avec les incertitudes qu'elle comporte, qui seule pourrait le donner.

J'ai eu la pensée de prendre, au moment où le contact va se produire, une série de photographies à intervalles de temps très-courts, et réguliers, de manière que l'image photographique de ce contact soit nécessairement compris dans la série, et donne en même temps l'instant précis du phénomène.

C'est par l'emploi d'un disque tournant que j'ai pu résoudre la question.

Voici le dispositif :

La plaque sensible prend la forme d'un disque ; elle se fixe sur un plateau denté, qui peut tourner autour d'un axe parallèle à l'axe de la lunette ou télescope qui forme l'image du soleil. Le disque est exécuté de manière que les images se forment vers la circonférence. Devant ce disque, un deuxième disque fixe, formant écran, est percé d'une petite fenêtre, pratiquée de manière à limiter l'impression photographique à la position de l'image solaire où le contact doit se produire.

Le plateau circulaire qui porte la plaque sensible est denté, et mis en rapport avec un petit appareil d'échappement, commandé par un courant. A chaque seconde, le pendule d'une horloge interrompt le courant, le plateau tourne de la valeur angulaire d'une dent, ce qui amène sous la fenêtre une portion non impressionnée de la plaque, où une nouvelle image du bord solaire vient se peindre. Si le disque porte, par exemple, 180 dents, la plaque pourra recevoir 180 images du bord solaire. On pourra donc commencer les photographies une minute et demie avant l'instant présumé du contact (instant que le spectroscope peut d'ailleurs indiquer pour le premier contact extérieur). Quand

la série relative à un contact est obtenue, la plaque sensible est retirée et remplacée par une autre qui donnera le deuxième contact, et ainsi pour les quatre.

On comprend qu'il est nécessaire de régler le temps de pose. On y parvient au moyen d'une languette métallique, munie d'une fente variable qui forme écran devant la fenêtre du disque obturateur, et qui, par une disposition mécanique particulière, découvre la fenêtre pendant la fraction de seconde reconnue convenable par des essais préliminaires.

Cette Note est simplement destinée à indiquer le principe de la méthode. On donnera plus tard les dessins et les détails nécessaires à l'exécution de l'appareil.



NOTE

SUR

L'APPROXIMATION EN VALEUR ABSOLUE DES POINTÉS

SUR

LES ÉPREUVES DAGUERRIENNES DU DISQUE SOLAIRE

OBTENUES AVEC LA LUNETTE PHOTOGRAPHIQUE

PAR

M. A. CORNU.

(Note présentée à la Commission du passage de Vénus, dans la séance du 22 février 1873).

Les épreuves daguerriennes du disque solaire sur lesquelles j'ai opéré ont $12^{mm}5$ de diamètre : elles ont été obtenues avec une lunette de 4 pouces d'ouverture et de $1^{m}42$ de foyer optique, rendue achromatique chimiquement par l'écartement des verres.

Elles ont été mesurées avec un micromètre à fil de Brunner, disposé sur un microscope : le grossissement définitif était d'environ 50 fois. Le tambour de la vis est divisé en 100 parties. Une partie équivaut à un peu plus d'un millième de millimètre. Plus exactement, $\frac{1}{10}$ de millimètre $= 84^{d}3$ (mesure directe sur un micromètre à traits).

1° *Choix du réticule.*

Le réticule à fils peut être disposé suivant les formes nº 1 ou nº 2.

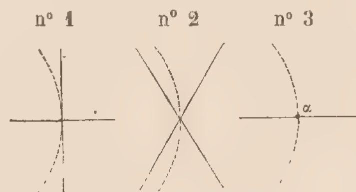


Fig. 1.

La forme nº 2 est de beaucoup préférable pour le pointé du bord du disque ; mais le nº 3, qui représente un grain de poussière α fixé au fil, est encore préférable : c'est à cette disposition que je me suis arrêté.

2° *Approximation d'un pointé simple dans le cas le plus favorable.*

On pointait sur un trait de diamant tracé sur verre ; la série des pointés a été :

	Pointés.	*Écarts avec la moyenne.*
	84ᵈ4	—0,1
	84,6	+0,1
	84,3	—0,2
	84,2	—0,3
	84,5	»
	83,8	—0,7
	85,7 (1)	+1,2
	85,3	+0,8
	84,0	—0,5
	84,6	+0,1
	845,4	4,0 somme des écarts.
Moyenne.. .	84,54	

(1) Malgré l'erreur accidentelle, l'écart moyen d'un pointé est de $\frac{1}{2}$ millième de millimètre.

Écart moyen $\overset{mm}{0,4}$

$$= \left(\frac{0,4}{843}\right) = \overset{mm}{0,0005} = \frac{1}{2000} \text{ de millimètre.}$$

Ainsi le micromètre adopté permet de pointer au moins au demi-millième de millimètre.

3° *Pointés sur le bord de l'épreuve du disque solaire.*

J'ai pris l'une des meilleures épreuves et j'ai choisi trois parties du bord du disque :

L'appareil photographique étant monté d'une manière peu stable, il y a toujours des trépidations qui rendent les bords inégalement nets dans diverses directions, mais toujours dans de très-petites limites d'inégalité. — L'état des courants d'air atmosphériques et le sens du mouvement diurne sont encore des causes de trouble qui, n'agissent pas de la même manière sur tous les points.

Une des parties A était très-nette,
La seconde B — assez nette,
La troisième C — comme netteté au-dessous de ce qu'on obtient d'ordinaire.

	PARTIE A		PARTIE B		PARTIE C	
	3	Écarts.			4	
	54,2	—0,4	61,5	+1,1	24,4	—2,4
	55,1	+0,5	60,5	—0,2	27,7	+0,9
	54,8	+0,2	59,5	—1,2	26,0	—0,8
	55,1	+0,5	62,0	+1,3	28,5	+1,7
	54,5	—0,1	59,9	—0,8	27,5	+0,7
	55,1	+0,5	60,0	—0,7	27,0	+0,2
	55,2	+0,6	60,5	—0,2	25,8	—1,0
	54,2	—0,4	62,5	+1,8	25,1	—1,7
	54,0	—0,6	61,0	+0,3	28,4	+1,6
	53,9	—0,7	59,3	—1,4	27,7	+0,9
	546,1	4,5	606,7	9,0	268,1	1,9
Moyenne.	54,6		60,67		26,81	

Écart moyen.	Écart moyen.	Écart moyen
$\overset{\text{mm}}{0,45}$	$\overset{\text{mm}}{0,9}$	$\overset{\text{mm}}{1,19}$
$\frac{0,45}{843} = 0.00053$	$\frac{0,9}{843} = 0,0010$	$\frac{1,19}{843} = 0,0014$
$= \frac{1}{1500}$ de millimètre.	$= \frac{1}{930}$ de millimètre.	$= \frac{1}{710}$ de millimètre.

Ainsi le bord le plus net a donné un écart moyen de $\frac{1}{1500}$ de millimètre ; le second, considéré comme ayant la netteté ordinaire, a donné presque le millième ; le troisième, au-dessous de ce qu'on peut couramment obtenir, n'a pas donné deux millièmes d'*erreur de pointé*.

Je conclus de ces observations qu'on peut compter, avec les épreuves daguerriennes, sur des pointés dont la précision atteint au moins le *millième* de *millimètre*.

C'est donc purement et simplement du procédé optique pour la formation des images photographiques que dépend la précision du résultat.



DESCRIPTION DE LA MÉTHODE

PERMETTANT D'OBTENIR

L'ACHROMATISME PHOTOGRAPHIQUE

DES OBJECTIFS ACHROMATISÉS POUR LA VISION DIRECTE.

DESCRIPTION SUCCINCTE
D'UNE OPÉRATION FOURNISSANT DES ÉPREUVES DAGUERRIENNES DU DISQUE SOLAIRE

PAR

M. A. CORNU.

(Note présentée à la Commission du passage de Vénus, dans la séance du 22 février 1873.)

La transformation d'un objectif achromatique pour la vision directe en objectif achromatique pour la photographie s'effectue pratiquement de la manière suivante :

Le barillet qui porte les deux verres étant disposé de manière à permettre entre eux l'interposition de *bagues,* on commence par mettre les verres au contact, puis on cherche le foyer chimique en prenant une épreuve photographique d'un objet éloigné. Il n'est pas nécessaire de choisir un objet tellement éloigné que son image optique se fasse au plan focal de l'infini : il suffit de le prendre à une distance qui soit à peu près égale à 100 fois ou 200 fois la distance focale de l'objectif.

On peut simplifier beaucoup la recherche du foyer chimique en opérant de la manière suivante :

1° On fait disposer une *chambre-noire-oculaire* de façon que la plaque sensible puisse glisser dans des coulisses : on peut ainsi faire cinq ou six épreuves sur la même plaque et, par suite, mener très-promptement les essais méthodiques.

2° On marque sur le tirage un trait qui correspond à la position du foyer optique en coïncidence avec le plan de la surface sensible. Le dispositif que nous avons l'honneur de mettre sous les yeux de la Commission permet de réaliser très-facilement cette condition. A cet effet, la plaque sensible est remplacée par une lame de verre sur laquelle des traits ont été marqués : la face portant ces traits est tournée vers l'objectif et, par suite, se trouve dans le plan même que doit occuper ultérieurement la plaque sensible ou la glace collodionnée.

Un oculaire à très-court foyer est disposé en arrière, de façon à viser par transparence les traits de la lame. On peut donc ainsi, en faisant varier le tirage par degrés très-petits, *mettre au point* l'image optique, c'est-à-dire amener le plan focal moyen des rayons visibles à coïncider avec le plan de la face antérieure de la glace.

3° On fait une série d'épreuves photographiques correspondant à des tirages variant de millimètre en millimètre ; mais on les fait sur la même plaque iodo-bromée, ou mieux encore sur la même glace colliodonnée (ce qui va plus vite), de sorte que l'opération est très-rapide : d'un autre côté, comme l'expérience montre que le foyer chimique est en arrière d'environ un demi pour cent de la distance focale

principale des rayons visibles, on peut immédiatement se placer aux environs du foyer chimique, ce qui diminue d'autant le nombre des essais.

Le dispositif qui permet d'obtenir cinq ou six épreuves sur la même plaque n'est pas avantageux seulement au point de vue de la rapidité des opérations : son but est surtout d'avoir des épreuves bien comparables au point de vue de la netteté : on serait évidemment dans des circonstances beaucoup moins bonnes, si les épreuves successives étaient faites sur des plaques ou sur des glaces séparées, car on ne serait jamais aussi sûr de l'identité de la préparation, ni des circonstances atmosphériques, nécessairement un peu variables.

Le résultat de la comparaison des six épreuves permet donc *immédiatement* de définir, à moins de *un demi-millimètre près,* la distance au foyer optique du foyer chimique *le moins imparfait.*

Il ne faudrait pas croire toutefois que l'image photographique obtenue ainsi soit très-imparfaite ; observée avec un oculaire dont le grossissement serait moitié de celui de l'oculaire le plus convenable à la lunette, elle est encore très-satisfaisante ; mais la rectification que nous allons indiquer maintenant permet une amplification au moins égale à celle de l'oculaire optique.

La seconde opération consiste à répéter les mêmes essais en écartant les deux verres d'une quantité égale à un demi pour cent de la distance focale, et à déterminer ainsi la distance du foyer chimique au foyer optique. Cette distance aura notablement diminué.

Une troisième opération, servant de contrôle aux deux

premières, devra également être effectuée : on écartera les deux verres d'une quantité égale à un pour cent de la distance focale, et on déterminera encore la distance des deux foyers. L'image optique, dans ces deux nouvelles opérations, aura sans doute un peu perdu de sa netteté ; mais, si l'on a soin d'employer un verre bleu très-clair, on évitera, d'une manière presque complète, cet inconvénient. On aura donc une troisième distance des deux foyers correspondant au nouvel écartement des verres. On pourra alors déterminer graphiquement l'écartement qui donne l'image photographique la plus convenable. Il suffira de tracer la courbe obtenue en prenant pour abscisses l'écartement des verres et pour ordonnées les distances correspondantes des deux foyers.

Le point de la courbe dont l'ordonnée sera nulle correspondra évidemment à la distance des verres qui produit la coïncidence du foyer optique imparfait et du foyer chimique : l'expérience prouve que ce point donne, en effet, des résultats très-satisfaisants ; mais si l'on ne craint pas de faire encore quelques essais, on pourra améliorer l'achromatisme chimique, en opérant dans le voisinage du point ainsi déterminé.

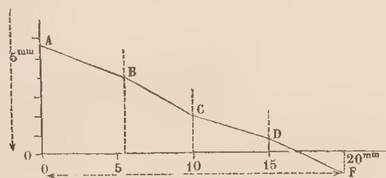


Fig. 1.

Voici un exemple tiré de nos expériences mêmes :

La courbe représentée ci-contre (fig. 1) est celle qui a été obtenue avec un objectif de quatre pouces d'ouverture construit par MM. Brunner frères, et disposé dans un barillet spécial permettant l'écartement graduel et continu des deux verres : la distance focale de cet objectif est de $1^{m},42$. On a fait cinq fois l'opération précédemment décrite :

Les deux verres en contact donnaient un foyer chimique en arrière du foyer optique de $5^{m}\frac{1}{2}$ environ, c'est-à-dire :

1° A 0,4 °/₀ de la distance focale principale (point A);
2° A 6^{mm} de distance pour les verres les deux foyers étaient à 4^{mm} (point B);
3° A 10^{mm} la variation du foyer était de $2^{mm},5$ (point C);
4° A 15^{mm} — — $1^{mm},0$ environ (point D);
5° A 20^{mm} — — $1^{mm},5$ (point E);

c'est-à-dire que le foyer chimique était passé en avant du foyer optique : mais l'épreuve paraissait moins bonne, comme netteté, que l'épreuve obtenue à 15^{mm} de distance.

En comparant la netteté maximum de BCDE, on ne voyait pas de différence sensible entre celle de C et celle de D : celle de E, moins bonne que les deux précédentes, était d'ailleurs encore supérieure à celle de B. On a donc fixé la position d'écartement des deux verres à 15 millimètres, c'est-à-dire à un pour cent de la distance focale. Une légère variation de distance n'occasionnerait qu'une variation de netteté insignifiante.

Quant au foyer chimique, il est d'environ 1^{mm} en arrière du foyer optique le meilleur; par des épreuves répétées, il a été plus exactement fixé à $0^{mm},75$, à deux dixièmes de millimètre près.

Les épreuves daguerriennes du Soleil que nous avons l'honneur de mettre sous les yeux de la Commission ont été obtenues à l'aide de cet objectif dont les deux verres ont été écartés de 15^{mm} ($1\,^o/_o$ de la distance focale) et en plaçant la plaque sensible à $0^{mm},75$ en arrière du foyer optique obtenu par projection avec l'oculaire des traits de la glace dont il a été parlé plus haut et de l'un des bords du Soleil : la netteté de ces épreuves est telle qu'on peut les soumettre à un grossissement de 100 diamètres, sans cesser de pointer sur les bords solaires avec l'approximation de un $\frac{1}{500}$ de millimètre.

Le disque solaire ayant un diamètre de $12^{mm},5$ sur les épreuves, on conclut que l'approximation du diamètre solaire équivaut, en valeur angulaire, à

$$33' + \left(\frac{\frac{1}{500}}{12,5}\right) = 1920'' + \frac{1}{6250} = 0''3$$

c'est-à-dire à $\frac{1}{3}$ de seconde.

Ainsi, une simple lunette de quatre pouces d'ouverture, fournissant une image solaire de $12^{mm},5$ de diamètre, suffit complétement, comme exactitude, à toutes les exigences d'une détermination astronomique.

On pourrait objecter à cette méthode que la séparation des verres pourrait amener des aberrations latérales. L'expérience directe prouve que, si elles existent, elles sont entièrement inappréciables. A cet effet, on a placé à la distance la plus grande dont on pouvait commodément disposer (40^m) une échelle divisée en 500 millimètres, formée par des traits découpant un vernis noir, et éclairée par

transparence : des épreuves photographiques obtenues au foyer de la lunette achromatisée ont donné, avec une grande netteté, l'image des divisions qui sous-tendaient ainsi un angle de 5″ environ, dans toute l'étendue du champ, qui correspondait ainsi à 2500″, c'est-à-dire à près de une fois et demie le diamètre solaire.

[On a pu alors vérifier l'approximation du pointé en remarquant que l'intervalle entre deux divisions pouvait être subdivisé à vue en 10 parties, et même en 20 parties à l'aide d'un micromètre, ce qui fait 0″,25 d'approximation dans l'évaluation angulaire du cliché.]

Nous avons l'honneur de mettre ces épreuves sous les yeux de la Commission.

Ainsi il n'y a aucune *aberration* dans la position *longitudinale* des foyers en dehors de l'axe ; ce foyer est sensiblement *plan*. Le relevé micrométrique montre qu'il n'y a non plus *latéralement* aucune *aberration angulaire* sensible, c'est-à-dire que les images des traits sont aussi équidistantes que la perfection même de la vis micrométrique permet de l'affirmer.

DESCRIPTION D'UNE OPÉRATION POUR LA PRODUCTION D'UNE ÉPREUVE DU DISQUE SOLAIRE.

On dirige la lunette de manière que l'image du disque solaire se fasse exactement au centre du champ. Pour y arriver, une petite lentille, fixée latéralement sur le tube et donnant l'image solaire par projection sur un écran, sert

de chercheur pour régler en direction l'axe optique de la lunette. A cet effet, deux traits tracés sur l'écran sont disposés de manière que, lorsque l'image du disque solaire est tangente à ces deux lignes, l'image focale de l'objectif est exactement au milieu du champ.

On apporte alors la chambre noire munie d'une plaque iodée; un obturateur garantit la couche sensible de l'accès de la lumière; on la fixe à l'extrémité du tube de la lunette, préalablement réglée de façon que le foyer chimique se fasse exactement sur le plan de la couche sensible.

Pour faire une épreuve solaire, on dispose l'obturateur à coulisse, formé d'une simple lame de clinquant, ou mieux d'aluminium, dans la rainure où elle glisse à frottement très-doux. La fente pratiquée dans cette lame qui, dans un mouvement rapide, passe à deux ou trois millimètres en avant de la plaque iodée, est de dimension convenable suivant le temps de pose et suivant le poids qu'on veut employer pour les mettre en mouvement.

Dans les essais que nous avons faits, il n'a pas été nécessaire d'employer le dispositif que nous conseillons d'adopter dans l'appareil définitif; le simple poids de la lame suffit pour produire le mouvement; alors, une ouverture de 10 millimètres produit dans la chute un temps de pose parfaitement suffisant, pendant le milieu du jour, aux heures où la hauteur du soleil reste à peu près constante. Après trois heures de l'après-midi, en hiver, lorsque le soleil baisse et perd en intensité, le temps de pose doit être augmenté : on prend une lame semblable, mais avec une ouverture de 15 millimètres : celle-ci suffit alors jusqu'au moment où l'intensité solaire ne permet plus d'obtenir des épreuves

daguerriennes dans un temps assez petit pour que le mouvement diurne ne soit pas gênant.

La plaque daguerrienne, après l'exposition au foyer de la lunette, est placée dans la boîte à mercure, à la température de 45° centigrades; environ 20 minutes suffisent pour obtenir le développement complet de l'image : on peut alors retirer l'épreuve, la laver et la fixer provisoirement à l'hyposulfite de soude étendu à $\frac{1}{30}$; on peut ensuite la fixer complétement avec une solution d'hyposulfite d'or et de soude, dissous dans la proportion de 1gr dans 250 à 300gr d'eau distillée.

En général, on n'a pas besoin de fixer au sel d'or les épreuves obtenues; elles sont assez brillantes pour être observées immédiatement à la loupe, ou mieux avec un microscope grossissant de 25 à 50 fois. On examine spécialement les bords, au point de vue de la netteté. Si l'on n'est pas exactement au foyer, les bords sont estompés, à moins que le temps de pose ait été insuffisant. Alors, on fait une série d'épreuves du disque solaire sur la même plaque, en plaçant un obturateur en avant de la coulisse mobile; de cette manière, le disque solaire ne s'imprime pas tout entier; un des bords suffit, de sorte qu'en faisant glisser la plaque dans la rainure où elle peut se déplacer, on obtient une série d'images, en faisant à chaque fois varier le tirage de quelques dixièmes de millimètre. On choisit, comme tirage définitif, celui qui correspond à la plus grande netteté.

L'avantage que présente l'emploi d'un objectif est de conserver un foyer complétement invariable : lorsque l'appareil a été réglé une fois avec soin, on fait un trait sur

le tirage, et la netteté reste parfaitement constante sur toutes les épreuves ultérieures.

En résumé, l'appareil optique que l'on emploie est réduit au maximum de simplicité, et par suite de précision, puisqu'il se compose d'un simple objectif.

Le procédé photographique est également réduit au maximum de simplicité, puisqu'il suffit d'employer l'iode pur, qui fournit une sensibilité largement suffisante : nous avons rejeté, dans nos essais, et nous conseillons de rejeter, dans les opérations définitives, l'emploi du brôme comme plus délicat : il faut, en effet, lorsqu'on se sert de plaques brômées, éviter avec soin l'humidité et l'accès de toute lumière : ces conditions, faciles à réaliser dans un laboratoire bien disposé, ne peuvent évidemment pas être remplies dans ces installations incomplètes dont il faudra se contenter lors des expéditions lointaines.

Nous avons l'honneur de mettre sous les yeux de la Commission des épreuves du disque solaire, de 12 millimètres et demi de diamètre, qui supportent un grossissement de 100 fois sans que la netteté du bord cesse d'être satisfaisante : d'après le calcul indiqué plus haut, leur précision, qui permet un point de $\frac{1}{3}$ de seconde, serait déjà bien suffisante pour le but que la Commission poursuit.

Néanmoins, pour augmenter encore les chances de succès et satisfaire aux exigences des astronomes qui ne se contenteraient pas d'images aussi petites, nous pensons qu'on pourrait adopter des objectifs d'une plus grande distance focale, avec une ouverture proportionnée.

Des objectifs de cinq pouces de diamètre et $2^{m},20$ de dis-

tance focale nous paraissent présenter toutes les garanties désirables : le disque solaire aurait 20^{mm} de diamètre sur les épreuves ; celles-ci, par suite, fourniraient des pointés d'une précision probablement supérieure à celle des pointés directs, sans toutefois exiger une installation équatoriale différente de celles qui sont usitées dans les Observatoires.



RAPPORT

SUR

LA PHOTOGRAPHIE PAR IMAGES DIRECTES

PAR

M. FIZEAU.

(Présenté à la Commission du passage de Vénus, dans la séance du 22 février 1873.)

A la suite de plusieurs séances consacrées, en novembre dernier, à la discussion des méthodes proposées pour obtenir les meilleures épreuves photographiques du passage de Vénus, la Commission m'a fait l'honneur de me charger d'étudier en particulier la méthode *des images directes* reçues sur la plaque iodée de Daguerre, l'image étant empruntée *sans aucun intermédiaire,* soit au foyer d'un télescope, soit au foyer d'une lunette, et l'un ou l'autre instrument étant *dirigé directement* vers le Soleil. Avec l'autorisation de la Commission, j'ai prié M. Cornu de s'adjoindre à moi pour cette étude, et je viens aujourd'hui rendre compte des résultats obtenus.

On doit remarquer d'abord que le but que l'on se propose d'atteindre par la photographie est un but de haute

précision; qu'il s'agit d'obtenir, non des épreuves artistiques, mais une série d'épreuves très-nettes du Soleil, portant chacune le petit disque de Vénus dans la situation précise qu'il occupera à différents instants du passage, soigneusement déterminés. Au retour seulement de l'expédition, les différentes épreuves seront soumises, à loisir, à des mesures micrométriques très-précises, pour déterminer les positions de la planète sur le Soleil aux divers instants du passage, et de l'ensemble de ces positions on pourra conclure, pour chaque station, quelle aura été la distance minimum des centres et l'heure où ce minimum aura eu lieu, probablement aussi les heures des contacts. Voilà certainement le rôle qu'il convient d'attribuer à la photographie. Ce sont, en réalité, des déterminations micrométriques de positions de la planète sur le Soleil, lesquelles doivent égaler et même surpasser s'il se peut en précision les mesures semblables que les astronomes se proposent de faire par les moyens optiques ordinaires. Il résulte de là que l'instrument destiné à la photographie doit être, s'il est possible, aussi parfait que celui qui est destiné aux observations astronomiques.

Or l'expérience jointe à la théorie a conduit depuis longtemps les astronomes à l'emploi des systèmes optiques les plus directs et les plus simples, c'est-à-dire à ne faire porter leurs observations et les fils de leurs micromètres que sur les images directement formées au foyer d'une lunette ou d'un télescope, dirigé sans réflexion intermédiaire sur l'astre que l'on veut observer. L'œil regarde l'image avec une simple loupe, mais sans recourir jamais pour cela au microscope dit composé, ni à l'oculaire dit terrestre,

dont l'usage est depuis longtemps condamné pour les observations qui réclament de la précision, à cause des déformations qu'ils occasionnent toujours dans les images.

Ce sont donc les images directes qui doivent avoir la préférence, si l'on veut que les opérations photographiques puissent rivaliser en précision avec les observations optiques des astronomes.

Mais est-ce à un télescope ou à une lunette que l'on doit avoir recours, pour former les images?

Le télescope possède un avantage capital au point de vue photographique, c'est que tous les rayons, quelle que soit leur refrangibilité, concourent exactement au même foyer, en sorte que les images sont absolument achromatiques, et que, par conséquent, la netteté de l'image photographique sera tout-à-fait la même que celle de l'image optique, et s'observera dans le même plan que cette dernière.

Nous avons donc d'abord fait des essais avec un télescope de Foucault, de $2^{m},40$ de distance focale, appartenant à l'Observatoire de Paris et que la Commission à fait mettre à notre disposition.

Les images de 22^{mm} obtenues avec cet instrument sur des plaques iodées de Daguerre ont été d'une netteté très-inégale : exceptionnellement, elles ont été excellentes, mais le plus souvent elles se sont montrées à bords troubles, à des degrés divers. Nous avons bientôt reconnu que ce résultat défavorable et tout-à-fait contraire à la précision des mesures devait être attribué presque uniquement aux déformations accidentelles du miroir de verre, sous l'influence des changements de température. Sous cette influence, en effet, le miroir dont la matière est un mauvais conducteur

de la chaleur, subit des répartitions inégales de température, ainsi que des dilatations inégales, qui entraînent nécessairement des déformations de la surface réfléchissante, déformations tantôt symétriques autour du centre, avec allongement ou raccourcissement de la distance focale, tantôt irrégulières et dissymétriques, avec trouble des images focales.

Nous avons vérifié par une expérience directe la cause de ces phénomènes, en approchant à la distance de 20 à 30 centimètres du miroir un large disque de bronze chauffé vers 100 degrés. Nous avons alors observé que, par suite de l'influence du rayonnement de ce disque sur le miroir, les images focales s'altéraient rapidement en se troublant, et que la distance focale variait jusqu'à s'allonger d'au moins 10 millimètres.

Nos expériences sont donc peu favorables à l'emploi du télescope à miroir de verre, malgré sa précieuse propriété de parfait achromatisme.

Nous avons ensuite dirigé nos recherches vers les images obtenues au foyer des lunettes.

La lunette astronomique simple présente, tant au point de vue théorique qu'au point de vue pratique, des avantages incontestables qui expliquent la préférence constante des astronomes pour cet instrument, toutes les fois qu'il s'agit, non d'astronomie physique, mais de mesures précises d'angles et de temps. A peine sensible aux changements de température, à la fois simple, commode et maniable, la lunette aurait, dès les premières réunions de la Commission, rallié tous les suffrages, si l'on avait été dès lors certain d'avoir, en temps convenable, les quatre objectifs nécessaires

aux quatre stations, bien identiques entre eux et surtout bien éprouvés au point de vue de l'achromatisme spécial qu'exige la production des épreuves photographiques.

On sait, en effet, que le maximum de la lumière visible dans le spectre est situé dans le jaune, vers la raie D, tandis que le maximum photographique de l'effet chimique s'observe dans le violet, entre les raies G et H. L'achromatisme nécessaire à la netteté des images ne doit donc pas être le même pour l'œil et pour la surface photographique. Pour l'œil, il doit consister dans la réunion au même foyer des rayons voisins du maximum de lumière, tandis que, pour la netteté des images photographiques, ce sont les rayons voisins du maximum d'action chimique qui doivent être réunis ensemble. Les constructeurs d'objectifs pour la photographie obtenaient bien déjà, quelquefois, par des tâtonnements toujours incertains, un achromatisme convenable. Mais M. Rutherfurd est le premier qui ait obtenu, par une méthode bien définie, de grands objectifs véritablement achromatiques pour la photographie. Cependant la solution qu'il a donnée, quoique très-remarquable, est encore trop empirique et trop difficile à réaliser jusqu'à présent, pour que la Commission ait cru pouvoir l'adopter avec sécurité.

M. Cornu est parvenu, de son côté, à une solution qui paraît tout-à-fait correcte au point de vue théorique et qui présente de plus dans l'application une facilité, une perfection et une sûreté tout-à-fait inespérées. J'ai déjà annoncé ce résultat à la Commission et je lui ai donné lecture d'une première note de M. Cornu sur ce sujet ; les expériences n'étaient pas encore aussi avancées qu'elles le sont

aujourd'hui, et j'espère que la Commission voudra bien entendre de M. Cornu lui-même la lecture d'un Rapport plus complet et plus détaillé, qui lui permettra d'arrêter son opinion en pleine connaissance de cause; en effet, une lunette photographique vient d'être construite par MM. Brunner, d'après la nouvelle méthode et avec un succès que la Commission pourra apprécier. Je dois faire remarquer que l'instrument a été construit à une échelle moindre que celle que nous proposons d'adopter, et cela afin d'abréger le temps réclamé par le constructeur et de pouvoir exécuter plus tôt les expériences et en soumettre sans retard les résultats à la Commission. L'achromatisme photographique a été obtenu tout de suite par la méthode de M. Cornu, avec une précision singulière, comme on peut le reconnaître sur les épreuves ci-jointes. On y voit tout de suite que la netteté des images photographiques est tout-à-fait du même ordre que la netteté des images optiques d'une bonne lunette astronomique, conformément aux prévisions de la théorie.

Dès lors, on peut concevoir que le passage de Vénus pourra être étudié au moyen de deux séries d'observations parallèles et du même ordre de précision, l'une optique, faite au moyen de la lunette astronomique, l'autre par images sur plaques iodées, au moyen de la lunette photographique, l'un et l'autre instrument étant également montés sur un pied parallactique d'une grande solidité, et ne différant entre eux qu'en ce que, dans l'un, il y aura l'oculaire micrométrique ordinaire, et, dans l'autre, un petit châssis porte-plaque, avec écran mobile.

Les dimensions qui résultent d'un examen attentif, comme étant les plus convenables à donner à la lunette photogra-

phique, que nous avons l'honneur de proposer à la Commission, sont les suivantes :

	m
Diamètre de l'objectif.	0,135 (5 pouces).
Distance focale..	2,200 environ.
Diamètre de l'image.	0,020 environ.

C'est avec une conviction entière et une pleine confiance dans les résultats, que j'ose engager la Commission à adopter une solution qui, je m'en suis assuré, réunit l'assentiment de la plupart des physiciens les plus familiers avec l'optique. J'ajouterai cependant, en terminant, que si, par suite de préférences manifestées par quelques-uns des chefs de station pour un autre appareil, la Commission jugeait convenable de ne pas adopter (ce qui serait, je crois, regrettable) un système uniforme d'épreuves photographiques tout à fait comparables entre elles, je demanderais, *au moins*, l'adoption de la lunette photographique pour deux stations, l'une au nord, l'autre au midi. Dans ce cas et en raison du peu de temps que nous pouvons désormais accorder aux constructeurs, je prierais la Commission de vouloir bien décider, dès maintenant, la construction de deux de ces instruments.



SUR LA PRÉCISION

QUE POURRA DONNER

DANS LA DÉTERMINATION DE LA PARALLAXE SOLAIRE

L'APPAREIL PHOTOGRAPHIQUE

PROPOSÉ PAR

MM. WOLF ET MARTIN.

NOTE ADDITIONNELLE

PAR

M. C. WOLF

(Présentée à la Commission du passage du Vénus, dans la séance du 1[er] mars 1873.)

L'appareil photographique que nous avons proposé, M. Ad. Martin et moi, pour l'observation du passage de Vénus sur le Soleil, donne des images du disque solaire d'environ 60^{mm} de diamètre. J'ai dit, en le décrivant, par quelles considérations nous avons été conduits à adopter cette grandeur d'image ; je me propose aujourd'hui de mon-

trer qu'elle suffit à donner l'approximation nécessaire pour la détermination de la parallaxe solaire, et ensuite d'appeler l'attention de la Commission sur les avantages que présente la mesure des angles de position de Vénus sur le Soleil, mesure à laquelle peut seul se prêter, avec la précision nécessaire, un appareil muni comme le nôtre d'un héliostat.

L'examen des nombreux pointés que j'ai faits pour mesurer au microscope les intervalles des traits d'une mire, dans le but de contrôler la perfection des images photographiques que donne notre appareil (voir la planche insérée plus haut), m'a donné pour erreur moyenne d'un seul pointé $\pm$ $0^{mm},002$, c'est-à-dire que, sur une image aussi nette que puisse la donner l'appareil, on peut pointer presque avec autant de sûreté que sur le trait d'une bonne graduation. Cette quantité $\pm$ $0^{mm},002$ peut être considérée comme l'erreur de l'appareil, celle qu'il introduit, par suite de l'emploi de la plaque sensible et des aberrations inévitables, dans le pointé fait sur l'image d'un trait absolument net et immobile. Les pointés sur l'image solaire seront nécessairement moins bons, d'abord parce que le bord du Soleil n'est pas, par sa nature même, bien défini, puis en raison des ondulations produites par la présence de l'air.

Des pointés faits sur les bords de plusieurs images du Soleil obtenues le même jour m'ont donné $\pm$ $0^{mm},0045$ comme erreur moyenne d'un pointé. Voici un exemple de ces pointés, faits avec un microscope grossissant environ 40 fois, et pour lequel $1^{p} = 0^{mm},0066$:

	l.	l-m	(l-m)²
	31ᵖ 4	+0ᵖ59	0,3481
	30, 9	+0,09	0,0081
	31, 0	+0,19	0,0361
	31, 1	+0,29	0,0841
	30, 4	—0,41	0,1681
	31, 8	+0,99	0,9801
	31, 1	+0,29	0,0841
	30, 7	—0,11	0,0121
	30, 4	—0,41	0,1681
	29, 3	—1,51	0,2801
Moyenne. . .	30ᵖ,81		4,1690
			0,4632

Erreur moyenne $= \pm 0^p,68 = 0^{mm},0045$

On peut donc admettre que l'erreur commise dans la mesure d'une distance sur une image solaire ne dépassera pas $0^{mm},005$, $\frac{1}{200}$ de millimètre. Cette approximation est-elle suffisante?

Les formules relatives au calcul de la parallaxe solaire à l'aide des mesures de distance des centres de Vénus et du Soleil, ont été établies par Hanssen dans son mémoire : *Bestimmung der Sonnenparallaxe*, Leipzig, 1870.

Si l'on élimine des formules l'angle de position de Vénus par rapport au cercle de déclinaison passant par le centre du Soleil, on arrive à une équation rigoureuse du 2me degré dont la solution est facile à obtenir par approximations successives. La différenciation de cette équation donne, entre la variation de la distance mesurée des centres et la variation qui en résulte sur la valeur de la parallaxe, la relation suivante, d'ailleurs facile à établir directement :

$$\cos H \, d\rho_0 = \pm \frac{r_1 r'}{r} de$$

ρ_0 étant la parallaxe horizontale du Soleil, e la distance

mesurée des centres, H la hauteur du Soleil au-dessus de l'horizon au moment de l'observation, r et r' les rayons vecteurs tabulaires de Vénus et de la Terre, r_1 la distance de Vénus à la Terre.

L'opération est la plus favorable quand $H = 0$. Alors

$$d\rho_0 = \pm(\bar{1},5579)\, ae \qquad (\bar{1},5579) = 0,361\,;$$

une erreur de 1″ sur la distance mesurée produit au minimum sur la parallaxe une erreur de 0″,361. A une erreur de 0″,1 sur la parallaxe répond une erreur de 0″,277 sur la distance des centres.

Si nous prenons une image du Soleil de 60^{mm} de diamètre, telle que la donne notre appareil, 1″ est représentée par $0^{mm},0313$. Pour n'avoir, par une seule comparaison de deux épreuves, qu'une erreur de 0″,1 sur la parallaxe, il faut que la distance des centres soit mesurée sur chaque épreuve avec une erreur moindre que $0^{mm},0087$. Mais nous pouvons n'avoir qu'une erreur de $0^{mm},005$, il en résultera sur la parallaxe une erreur de 0″,0625. Par conséquent, pour réduire cette erreur à 0″,01, il faudra au minimum 39 épreuves obtenues dans chacune des deux stations.

J'ai constamment insisté sur la nécessité de pouvoir déterminer sur les épreuves photographiques non-seulement la distance des centres, mais encore l'angle de position de Vénus. C'est qu'en effet, si l'on conserve cette quantité dans les formules, parmi toutes les relations qui peuvent servir à déterminer la parallaxe par la comparaison de deux épreuves prises en deux lieux convenables, il en est une qui jouit de cette propriété importante, que la détermination

est indépendante des erreurs des tables et surtout des erreurs de longitude ; à tel point qu'une erreur d'une heure entière sur la différence des longitudes ne produirait sur la parallaxe qu'une erreur de 0",04. En outre, dans cette relation, donnée par Hanssen, page 73 de son mémoire, la valeur de ρ_0 a pour dénominateur une quantité qui, pour des lieux et des heures d'observation convenablement choisis, peut s'élever jusqu'à 2. Pour le Japon, combiné avec les îles Kerguelen ou même Saint-Paul, ce dénominateur peut atteindre la valeur 1,6. De telle sorte que, si l'on a déterminé les angles de position dans ces deux lieux, une erreur de 0",1 sur la parallaxe correspondrait à une erreur de $0^{mm},0139$ sur la distance mesurée (au lieu de $0^{mm},0087$ dans le cas où l'on néglige l'angle de position).

L'erreur sur cette distance dans nos photographies n'étant que de $0^{mm},005$, l'erreur sur la parallaxe résultant de la combinaison de deux épreuves isolées s'élèverait seulement à 0",036 ; et il suffirait de 14 bonnes épreuves en chaque station pour réduire l'erreur à 0",01.

Avec quelle approximation doit être mesuré l'angle de position ? La différenciation des formules fondamentales de Hanssen donne la relation :

$$d\rho_0 = \pm(\bar{3},5152)\, d\theta$$

dans les conditions les plus favorables, impossibles à réaliser, puisqu'elles supposent la hauteur du Soleil nulle et l'angle parallactique droit. On en tirerait $d\theta = 30''$ pour une erreur de 0",1 sur ρ_0. En admettant donc que l'angle θ doit être déterminé avec une approximation d'au moins 20", nous resterons dans des limites encore très-larges. Dans

notre appareil, les tourillons qui portent le fil, dont l'image sur la plaque déterminera l'origine des angles de position, seront distants d'environ 15 centimètres; une erreur de 20″ (tang 20″ = 0,0001) supposerait une erreur de $0^{mm},015$ sur le réglage de ces tourillons, erreur qu'il sera facile d'éviter par l'emploi du niveau.

En résumé, pour obtenir la valeur de la parallaxe solaire avec une approximation de 0″,01, à l'aide d'épreuves photographiques de 60^{mm} de diamètre, sur lesquelles l'erreur d'un pointé sera de $\frac{1}{200}$ de millimètre, il faudra, avec notre appareil, obtenir au moins 39 épreuves dans chacune des stations correspondantes, si l'on se borne à la mesure des distances des centres ; il en faudra 14, si l'on mesure cette distance et l'angle de position, ce dernier étant déterminé avec une erreur moindre que 20″.

RAPPORT

SUR

L'APPAREIL PHOTOGRAPHIQUE

PAR

M. FIZEAU.

(Présenté à la Commission du passage de Vénus, dans la séance du 8 mars 1873.)

Dans la dernière séance de la Commission, M. le président nous a chargés, MM. Yvon-Villarceau, Wolf, Cornu, et moi, de nous réunir en sous-commission et d'examiner en commun s'il serait possible de vous proposer, dès maintenant, une décision à prendre au sujet du choix de l'appareil photographique, dont il devient de jour en jour plus urgent de faire la commande aux constructeurs.

Dès notre première réunion, nous avons unanimement reconnu que la question peut être aujourd'hui considérée comme suffisamment élucidée par les discussions qui, à diverses reprises, ont occupé plusieurs de vos séances, ainsi que par les expériences que vous avez fait exécuter au moyen des diverses méthodes proposées, expériences sur

lesquelles plusieurs rapports vous ont été soumis dans les dernières séances ; ces discussions et ces rapports étant consignés dans nos procès-verbaux et étant d'ailleurs assez récents pour être parfaitement présents à l'esprit de tous, nous croyons inutile d'y revenir et nous allons faire connaître immédiatement la disposition que nous proposons, d'un commun accord, comme paraissant la plus propre à assurer le succès des opérations dont il s'agit, et conciliant autant que possible les opinions diverses émises à ce sujet dans le sein de la Commission.

Le principe de l'appareil est le suivant :

Une lunette fixée horizontalement dans une position invariable, sur des piliers, et au-devant d'elle le miroir mobile d'un héliostat.

La lunette aura une distance focale d'environ 4 mètres.

L'objectif aura une ouverture de $0^{m},135$ (5 pouces). Il sera rendu achromatique pour les rayons chimiques, par la méthode de l'écartement des verres.

Les images photographiques devront être obtenues directement au foyer même de la lunette, sur une surface plane d'argent ioduré.

Le diamètre du disque solaire (la distance focale étant de 4 mètres) sera à très-peu près de $36^{mm},5$, celui du disque de Vénus de $1^{mm},1$.

La différence de position de Vénus sur le Soleil entre les stations extrêmes, boréales et australes, sera à très-peu près de $0^{mm},5$.

Voici quelques-unes des raisons qui peuvent recommander l'adoption de ce plan.

L'appareil est simple, il présente les avantages bien connus des lunettes, constance de la distance focale et de la netteté malgré les variations de la température, mise au point et manipulations photographiques sans grandes difficultés.

La position horizontale fixe a l'avantage d'éviter les vibrations accidentelles, dues surtout à l'action du vent sur un aussi grand instrument, vibrations qui seraient une grande cause de trouble pour les images photographiques. Dès lors, il est encore facile de placer près du foyer un fil exactement orienté. De plus, on peut ainsi se passer d'une monture sur un pied de très-grande dimension, que l'on n'aurait plus guère aujourd'hui la possibilité de faire construire en temps convenable.

L'emploi d'un miroir d'héliostat est une conséquence nécessaire de la position adoptée pour la lunette. Avec des précautions convenables, pour éviter l'échauffement inégal du miroir et par suite sa déformation, ainsi que l'ébranlement dû à l'action du vent, son emploi ne peut manquer d'être sûr et régulier.

Les dimensions de l'objectif et sa distance focale ont été considérées comme les meilleures, parce que, avec une ouverture plus grande, il faudrait compter sur un état trop favorable de l'atmosphère pour que l'on pût espérer le rencontrer à la fois dans les différentes stations; et avec une ouverture plus petite, la puissance de l'instrument tendrait à s'affaiblir.

Quant à la distance focale de 4 mètres, on remarquera que, l'ouverture étant de $0^{m},135$, cette distance est égale à 30 fois l'ouverture, ce qui est presque le double du rap-

port ordinaire. On a été conduit à considérer comme avantageux cet allongement du foyer, non pas parce que le pouvoir de définition serait proportionnel à la dimension des images, l'ouverture restant la même, ce qui serait une erreur, les images dans ce cas perdant en netteté ce qu'elles gagnent en grandeur, mais parce qu'on peut espérer néanmoins un petit avantage sous ce rapport, dans les circonstances spéciales où se feront les mesures, et surtout parce qu'il y aura ainsi une tolérance plus grande sur la position exacte de la plaque sensible au foyer.

Relativement à la nature de la couche sensible, la plaque iodurée de Daguerre paraît présenter de grands avantages, par la facilité et la sûreté de la préparation. Lorsque la durée d'exposition a été suffisante, les contours de ces images sont d'une netteté extrême et conservent leur définition précise sous les plus forts grossissements. Le degré de sensibilité est suffisant pour opérer en une petite fraction de seconde, par un ciel clair. En cas de brume plus ou moins épaisse, pouvant affaiblir beaucoup la lumière, on peut à volonté augmenter la sensibilité de la couche, par degrés, jusqu'à la rendre 100 fois plus grande, par l'addition d'un peu de vapeur de brôme ou de chlore. Ajoutons que les manœuvres du châssis porte-plaque, de l'obturateur instantané, et des écrans de diverses natures et d'orientation variée, s'exécutent déjà sans difficultés avec les appareils provisoires, lesquels seront perfectionnés encore dans la construction définitive.

En résumé, en adoptant les dispositions précédentes et en fixant les dimensions de l'appareil comme on vient de le voir, on doit, selon nous, se trouver dans les conditions à

peu près les plus favorables à l'observation du phénomène dont il s'agit; tout en tenant compte, comme il faut le faire, des conditions spéciales imposées par des expéditions lointaines, faites sous des climats et dans des saisons diverses, c'est-à-dire dans des circonstances qui ne sont nullement semblables. En ayant égard à ces considérations, nous ne pensons pas qu'il soit possible d'obtenir aujourd'hui, par la photographie, une précision notablement plus grande que celle qui doit résulter de l'emploi des moyens que nous proposons.

S'il s'agissait d'un instrument à établir à poste fixe dans un grand Observatoire, et surtout de l'observation d'un phénomène non passager et à date déterminée, comme celui dont il s'agit, mais d'un phénomène pour lequel on pourrait attendre à loisir l'état du ciel le plus favorable, la puissance de l'instrument pourrait évidemment être augmentée, en augmentant ses dimensions. Mais il n'en est pas de même dans le cas présent. Outre la difficulté croissante d'emporter, dans ces voyages lointains, des instruments de dimensions et de poids de plus en plus considérables, nous pensons que les chances de réussir avec de plus grands instruments seraient d'autant plus faibles, par la raison que les objectifs de plus grandes dimensions présentent plus souvent aussi (sans parler de ce qui dépend de l'imperfection des verres) du trouble et des ondulations dans les images, par suite de l'état de l'atmosphère, phénomène particulièrement nuisible pour la photographie; d'où il résulte que le choix du moment de l'observation devient alors d'autant plus nécessaire, choix qui est évidemment impossible dans le cas présent. Dans chaque station, on aurait donc une

chance faible de réussir, et, dans des stations multiples, une chance plus faible encore de réussir simultanément.

Voilà pourquoi on s'est décidé pour l'ouverture modérée de $0^{m}135$ (5 pouces), grandeur qu'il n'a pas paru prudent de dépasser, sous peine de compromettre le succès.

Mais, dans ces conditions, quel degré d'exactitude peut-on espérer des opérations photographiques?

Nous avons dit plus haut que la différence de position de Vénus sur le Soleil entre les stations extrêmes, boréales et australes, serait sur les épreuves à très-peu près de $0^{mm},5$, quantité qu'il ne paraît pas possible d'augmenter utilement, d'une manière notable, dans l'état actuel de l'optique et de la photographie. Les épreuves pourront être nombreuses, si les circonstances et l'état du ciel sont favorables; leur nombre, pour chaque station, pourra s'élever à 50, 100 et peut-être plus encore. Lors du retour de l'expédition, elles seront soumises à tout un ensemble de mesures micrométriques, faites cette fois tout-à-fait à loisir, avec de puissants microscopes, avec les meilleurs instruments, les méthodes et les répétitions de pointés jugées les plus favorables.

Or nous savons par les résultats des observations déjà connues des physiciens et des astronomes, résultats discutés récemment dans le sein de la Commission internationale des poids et mesures, que, dans la détermination de la position d'un trait fin tracé sur une surface, on peut atteindre une exactitude maximum de $0^{mm},0001$, l'erreur moyenne d'un pointé étant d'environ $\frac{1}{3}$ ou $\frac{1}{4}$ de millième de millimètre.

Mais il faut remarquer qu'il n'est pas permis d'espérer une précision aussi grande en pointant sur les bords des deux astres, soit sur les images photographiques, soit aussi

sur les images optiques des lunettes comme le feront les astronomes avec le micromètre.

Plusieurs séries de pointés, faits par M. Wolf et par M. Cornu sur un certain nombre d'images photographiques du Soleil, autorisent à admettre qu'avec la lunette photographique on pourra obtenir une erreur moyenne d'un pointé égale à $0^{mm},001$, ce qui pourrait conduire dans les mesures à une exactitude d'environ $\frac{1}{2}$ millième de millimètre. S'il en était ainsi, on aurait, relativement à la grandeur de l'effet parallactique sur les épreuves, qui est $0^{mm},5$, la quantité $\frac{0,0005}{0,5} = 0,001$, c'est-à-dire $\frac{1}{1000}$ de la valeur du phénomène.

Cependant, en raison des diverses causes accidentelles de complications que l'on peut dès aujourd'hui prévoir comme inévitables, et de plus en raison de la nouveauté de l'emploi des procédés photographiques, appliqués pour la première fois à des mesures astronomiques précises, on ne doit considérer ce degré d'exactitude que comme un maximum qui très-probablement ne sera pas atteint. Nous pensons, néanmoins, que l'on doit espérer, avec beaucoup de vraisemblance, arriver à un degré d'exactitude moitié plus faible, c'est-à-dire à $\frac{1}{500}$ de la valeur du phénomène.



RAPPORT

SUR LES

MESURES MICROMÉTRIQUES DIRECTES

A FAIRE

POUR L'OBSERVATION DU PASSAGE DE VÉNUS

PAR

MM. YVON VILLARCEAU ET C. WOLF.

(Présenté à la Commission du passage de Vénus, dans la séance du 8 mars 1873.)

Pour préciser le rôle que pourront jouer, dans l'observation du passage de Vénus, les mesures directes des positions de la planète sur le disque du Soleil, il convient d'examiner l'ensemble des procédés employés dans cette observation et l'influence exercée sur les résultats qu'on en peut espérer par une cause perturbatrice très-générale : nous voulons dire les ondulations atmosphériques. Ces ondulations, si nuisibles dans toutes les observations, à tel point que l'un de nous a pu dire que, dans l'état actuel de l'astronomie de précision, la seule cause d'erreur dont il reste à éliminer l'effet, c'est l'influence de l'état de l'atmosphère ; ces ondulations, disons-nous, se manifesteront de la

manière la plus fâcheuse dans l'observation du passage de Vénus et indépendamment du trouble des images, elles y produiront un double effet : en premier lieu, un déplacement sans cesse variable de la totalité du disque solaire et de la planète, puis des déplacements relatifs des différents points du disque.

De là, et en faisant abstraction du trouble des images, un mode de classement méthodique des procédés d'observation au point de vue de la précision intrinsèque des résultats, classement sur lequel l'attention de la Commission a déjà été appelée par l'un de nous dans une des précédentes séances.

Quels que soient les procédés d'observation, la position de Vénus sur le Soleil doit être rapportée aux bords de cet astre. Si le bord de la planète est en contact avec le bord du Soleil, l'observation de ce contact élimine à la fois les influences des déplacements de totalité et des déplacements locaux. L'observation des contacts reste donc toujours, à ce point de vue comme en raison des autres avantages que lui a reconnus Halley, la méthode par excellence et le point capital sur lequel devra se porter l'attention des astronomes. On ne saurait donc entourer cette observation de trop de précautions. La vérification des qualités optiques des instruments, l'éducation des observateurs, ce sont là des conditions indispensables de succès, sur lesquelles on ne peut trop insister (1).

---

(1) Ajoutons que ces conditions seraient insuffisantes, s'il subsistait un trouble local des images; nous ne voyons d'autre moyen de prévenir ce

Dès qu'il existera une distance sensible entre les bords des deux astres, cette distance sera affectée par les déplacements locaux. Ils l'altèreront seuls, si elle est déterminée par des pointés simultanés sur ses deux extrémités; les deux genres de déplacements affecteront les mesures, si elles sont obtenues par des pointés successifs. Les images photographiques, qui représentent l'état général apparent du disque solaire à un instant déterminé, les mesures héliométriques, dans lesquelles les points dont on mesure la distance sont amenés à la superposition, ne laissent prise qu'à l'influence des déplacements locaux produits par la perturbation des couches atmosphériques; mais dans l'emploi de l'héliomètre intervient, en outre de toutes les causes de trouble dont on a parlé et de la difficulté de l'observation, le mode personnel de pointé de l'observateur. La photographie, et c'est là une remarque importante, est à l'abri de cette cause d'erreur; les épreuves, prises dans les diverses stations dans des conditions semblables, seront au retour mesurées par un même observateur; et nous aurons un résultat de même précision que si le même astronome eût pu, pendant le passage, observer à la fois dans l'hémisphère sud et dans l'hémisphère nord. La photographie l'emporte donc sur le procédé héliométrique.

Elle ne se montre inférieure à l'observation directe des contacts que parce qu'elle ne pourra, en général, donner les moments des contacts et les longueurs des cordes que

---

trouble, qu'en facilitant l'aérage et établissant les instruments à une hauteur suffisante pour échapper à l'action des courants ascendants d'air échauffé par le sol.

par rapport à un bord fictif du Soleil, et que les résultats seront affectés des erreurs micrométriques, indépendamment de l'inégalité des troubles locaux. Si donc le procédé photographique de détermination directe des contacts, proposé par M. Janssen, aboutit comme il est permis de l'espérer, la plaque daguerrienne donnera à elle seule une solution du problème, complète et toujours susceptible de révision.

Viennent enfin les mesures de distance de la planète au bord du Soleil à l'aide d'un micromètre à fil. Si l'on veut les faire à une époque quelconque du passage, elles subiront forcément la double influence des déplacements apparents de l'image solaire tout entière, et des déplacements relatifs de Vénus sur le disque. Toute mesure obtenue par des contacts successifs d'un fil avec le bord du Soleil et avec ceux de la planète, sera donc affectée d'une erreur qui peut s'élever à 2″,5, comme l'un de nous l'a déjà fait remarquer. Nous ne pouvons donc proposer à la Commission de recommander aux observateurs la mesure des distances de la planète au bord du Soleil, aux environs du maximum de phase, quelque intérêt que présente cette mesure : le nombre des observations qu'il serait possible de faire ne compenserait jamais les erreurs accidentelles du pointé. Les observateurs aux équatoriaux seront donc forcément inactifs au moment de la plus grande phase, et ce n'est peut-être pas à regretter dans l'intérêt des mesures et des observations qu'ils auront encore à faire pendant la seconde moitié du phénomène (1).

(1) Le temps pourrait être utilement employé à la mesure du diamètre de

Il sera possible, en effet, d'effectuer, aux environs des contacts, des mesures micrométriques proprement dites, dans lesquelles les deux bords visés soient vus *simultanément* en contact avec les fils et d'où l'erreur due aux déplacements de totalité se trouve éliminée. Dans ce but, le micromètre sera muni de deux couples de fils, l'un fixe *f*, l'autre mobile *m*, dans chacun desquels l'intervalle des fils sera un peu supérieur au diamètre apparent de Vénus.

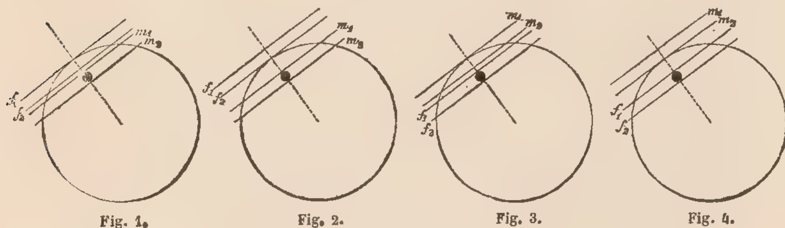


Fig. 1. Fig. 2. Fig. 3. Fig. 4.

Aussitôt après l'entrée complète de la planète, l'observateur tourne le micromètre sur son cercle de position de manière à amener la direction des fils à être perpendiculaire à la ligne des centres des deux astres ; ce qui lui est facile, car, dans cette position, la corde tangente à Vénus est divisée en deux parties égales par le point de contact. Puis, à l'aide du mouvement de rappel de la lunette en ascension droite, et aussi en profitant de la flexibilité du tube de la lunette, il place et maintient le fil fixe f_1 en contact avec le bord du Soleil; et, à l'aide de la vis micromé-

Vénus. La comparaison des diamètres obtenus par les divers observateurs donnera des indications utiles sur leur manière de pointer.

trique, il amène en même temps les fils du couple mobile à comprendre entre eux le disque de la planète, les filets de lumière qui restent entre les fils et les bords étant égaux. Il note le moment de l'observation et les indications des tambours de la vis. Il répète ensuite trois fois cette manœuvre en amenant les fils dans les positions indiquées par les figures 2, 3 et 4. La différence de la somme des lectures 1 et 2, et de la somme des lectures 3 et 4 donne le quadruple de la distance du centre de la planète au bord du Soleil correspondante à la moyenne des temps des quatre observations.

Il faut remarquer que, dans tous les pointés, l'observateur place le bord d'un fil tangentiellement au bord du Soleil; la distance mesurée d est donc en réalité trop grande de la demi-épaisseur du fil, quantité que l'on mesurera par les procédés ordinaires.

Nous n'avons pas pensé qu'il fût nécessaire de faire porter tout le système des fils, fixes et mobiles, par un second cadre mobile à l'aide d'une seconde vis, comme cela se fait pour les micromètres à étoiles doubles. Ici, en effet, la distance à mesurer varie sans cesse; il est donc moins important de se mettre en garde contre l'erreur résultant de ce qu'on emploierait constamment à la mesurer la même partie de la vis. Mais il sera nécessaire que le mouvement de rappel de la lunette se fasse avec la précision qui est obtenue, dans les instruments de l'Observatoire de Paris, par l'emploi d'un rouage satellite (1).

---

(1) *P. S.* — L'application du régulateur isochrone, disposé de manière à permettre d'en incliner l'axe, faciliterait les observations, attendu qu'on

Le mode d'observation, tel que nous l'avons indiqué, suppose que la position de coïncidence des axes des couples de fils reste constante, au moins pendant la durée des quatre mesures que l'on doit combiner. Il serait donc bon que les micromètres fussent compensés pour les variations de température, suivant la méthode de M. Y. Villarceau. Cette introduction n'augmente le prix du micromètre que d'une cinquantaine de francs.

La valeur du tour de vis et sa correction suivant la température devront être déterminées, par les méthodes ordinaires, avant l'argenture des objectifs, par conséquent avant le départ.

Nous ne croyons pas devoir indiquer, dès maintenant, le mode de calcul auquel seront soumis les résultats de ces mesures. On pourra, ou bien traiter séparément chacune des distances au bord pour en déduire la valeur de la parallaxe, ou bien conclure de l'ensemble, par une extrapolation légitime, le moment de l'entrée du centre de la planète. Il faut remarquer toutefois que, dans ce dernier cas, ainsi que nous l'avons déjà dit, ces moments d'entrée et de sortie seront rapportés à un bord fictif du Soleil et pourront différer assez notablement des temps déduits des observations réelles de contact, avec lesquels on ne devra pas les combiner. De plus, dans la comparaison des observations faites en deux stations, l'erreur ne pourra être éliminée que si l'on peut compter sur une parité complète

---

pourrait régler l'inclinaison de manière à faire suivre exactement à la lunette le mouvement apparent de Vénus en ascension droite.

de circonstances dans les observations que l'on se propose de combiner.

Il serait difficile de dire à l'avance quelle sera l'erreur moyenne d'un pointé, dans le mode d'observation dont nous venons de parler. On ne peut douter cependant que, dans des circonstances favorables, elle ne s'abaisse à une fraction de seconde.

NOTE

SUR

LE PASSAGE DE VÉNUS DE 1882

PAR

M. PUISEUX.

(Extrait des *Additions à la connaissance des temps*, pour 1875.)

Ayant consacré quelques-unes de mes Leçons de la Sorbonne à la question des passages de Vénus sur le Soleil, j'ai été amené à calculer, comme exemple, les principales circonstances du passage du 6 décembre 1882 ; je me propose, dans la présente Note, de faire connaître les résultats de ces calculs, en indiquant les formules dont je me suis servi. Bien des causes peuvent faire échouer les observations qu'on se propose de faire en 1874, et il n'est peut-être pas sans intérêt d'examiner dès à présent quel parti on pourrait tirer, dans ce cas, du nouveau passage qui doit avoir lieu huit ans plus tard.

Circonstances du phénomène
pour un observateur placé au centre de la Terre.

Choisissons une suite d'époques équidistantes (de deux heures en deux heures, par exemple) embrassant un peu plus que la durée du passage, et données en temps moyen de Paris; puis calculons pour chacune d'elles, à l'aide des Tables du Soleil et de Vénus, les quantités suivantes :

L'ascension droite géocentrique apparente du Soleil (en arc). .	$\mathcal{A}$,
La déclinaison géocentrique apparente du même astre.	$\mathcal{D}$,
Sa distance au centre de la Terre.	Δ,
Son demi-diamètre apparent.	ρ,
L'ascension droite géocentrique apparente de Vénus (en arc). .	$\mathcal{A}'$,
La déclinaison géocentrique apparente de cette planète.	$\mathcal{D}'$,
Sa distance au centre de la Terre.	Δ',
Son demi-diamètre apparent.	ρ',
L'heure sidérale de Paris réduite en arc.	σ.

Cela fait, nommons D l'arc de grand cercle mené sur la sphère céleste du centre du Soleil au centre de Vénus, et ∂ l'angle que l'arc D fait avec le parallèle mené vers l'est par le centre du Soleil, cet arc étant compté positivement de l'est à l'ouest en passant par le nord. Le triangle sphérique, qui a pour sommets le centre du Soleil, le centre de Vénus et le pôle nord, donnera les deux équations

$$\sin D \cos \partial = \cos \mathcal{D}' \sin (\mathcal{A}' - \mathcal{A}),$$
$$\sin D \sin \partial = \sin \mathcal{D}' \cos \mathcal{D} - \sin \mathcal{D} \cos \mathcal{D}' \cos (\mathcal{A}' - \mathcal{A}).$$

Pendant un passage de Vénus, les différences $\mathcal{A}' - \mathcal{A}$, $\mathcal{D}' - \mathcal{D}$ sont, ainsi que l'arc D, de l'ordre du demi-diamètre du disque solaire. Ces quantités étant regardées comme du

premier ordre, on voit aisément qu'on peut, dans les équations précédentes, négliger les termes du troisième ordre, sans que les erreurs correspondantes de D et de ∂ atteignent un centième de seconde. Elles se réduisent alors à

$$D \cos \partial = (\mathcal{A}' - \mathcal{A}) \cos \mathcal{D} - (\mathcal{D}' - \mathcal{D})(\mathcal{A}' - \mathcal{A}) \sin \mathcal{D} \sin 1'',$$
$$D \sin \partial = \mathcal{D}' - \mathcal{D} + \tfrac{1}{4}(\mathcal{A}' - \mathcal{A})^2 \sin 2\mathcal{D} \sin 1''.$$

Dans le plan qui touche la sphère céleste au centre S du disque du Soleil, traçons par ce point deux axes rectangulaires, l'un SX parallèle à l'équateur et dirigé vers l'est, l'autre SY dirigé vers le nord, et appelons X, Y les coordonnées par rapport à ces axes du point où le rayon de la sphère, passant par le centre de Vénus, va percer le plan tangent. Les quantités X et Y étant supposées exprimées en secondes d'arc, on aura

$$X = \frac{\operatorname{tang} D \cos \partial}{\sin 1''}, \quad Y = \frac{\operatorname{tang} D \sin \partial}{\sin 1''},$$

ou, en négligeant le cube de D,

$$X = D \cos \partial, \quad Y = D \sin \partial,$$

et, par conséquent,

$$X = (\mathcal{A}' - \mathcal{A}) \cos \mathcal{D} - (\mathcal{D}' - \mathcal{D})(\mathcal{A}' - \mathcal{A}) \sin \mathcal{D} \sin 1'',$$
$$Y = \mathcal{D}' - \mathcal{D} + \tfrac{1}{4}(\mathcal{A}' - \mathcal{A})^2 \sin 2\mathcal{D} \sin 1''.$$

Ayant calculé X et Y de deux heures en deux heures par ces formules, on les aura aisément par interpolation pour un temps intermédiaire quelconque t. On pourra donc avoir les valeurs de D et de ∂ pour des valeurs de t aussi rapprochées qu'on voudra, et, par suite, on trouvera sans peine les deux époques auxquelles on aura $D = \rho$, c'est-à-dire

auxquelles un observateur situé au centre de la Terre verra le centre de Vénus entrer sur le disque du Soleil et en sortir. Nous nommerons t_1 et t_2 ces deux époques, comptées en temps moyen de Paris, et leur différence $T = t_2 - t_1$ sera ce que nous appellerons la *durée du passage*.

Ajoutons que, des valeurs de X et de Y calculées de deux heures en deux heures, on conclura immédiatement les dérivées $\frac{dX}{dt}$, $\frac{dY}{dt}$, qui sont à très-peu près constantes ; on pourra alors, pour une époque quelconque t du passage, calculer les dérivées de D et de δ à l'aide des formules

$$\frac{dD}{dt} = \frac{dX}{dt}\cos\delta + \frac{dY}{dt}\sin\delta, \quad \frac{d\delta}{dt} = \frac{1}{D\sin 1''}\left(\frac{dY}{dt}\cos\delta - \frac{dX}{dt}\sin\delta\right),$$

ou, si l'on aime mieux, à l'aide de celles-ci

$$I\cos i = \frac{dX}{dt}, \quad I\sin i = \frac{dY}{dt},$$
$$\frac{dD}{dt} = I\cos(i-\delta), \quad \frac{d\delta}{dt} = \frac{I}{D\sin 1''}\sin(i-\delta).$$

En suivant cette marche et faisant usage des Tables du Soleil et de Vénus de M. Le Verrier, on obtient les nombres qui suivent :

1882 Déc. 6, t. m. de P.	0^h	2^h	4^h	6^h	8^h	10^h
$\mathcal{A}$	252°58′31″,16	253° 3′58″,94	253° 9′26″,77	253°14′54″,66	253°20′22″,61	253°25′50″,61
$\mathcal{D}$	−22°31′46″,93	−22°32′22″,33	−22°32′57″,56	−22°33′32″,60	−22°34′ 7″,47	−22°34′42″,17
Δ	0,9850048	0,9849944	0,9849841	0,9849738	0,9849635	0,9849532
ρ	974″,61	974″,62	974″,63	974″,65	974″,66	974″,67
$\mathcal{A}'$	253°17′46″,30	253°14′39″,72	253°11′33″,23	253° 8′26″,83	253° 5′20″,55	253° 2′14″,41
$\mathcal{D}'$	−22°47′53″,94	−22°46′15″,48	−22°44′36″,93	−22°42′58″,30	−22°41′19″,61	−22°39′40′,88
Δ'	0,2644792	0,2644740	0,2644716	0,2644700	0,2644711	0,2644741
ρ'	31″,40	31″,40	31″,40	31″,40	31″,40	31″,40
σ	255° 9′ 39″,81	285°14′35″,50	315°19′31′,20	345°24′26″,89	15°29′22″,59	45°34′18″,28
X	+1064″,90	+590′,85	+116″,63	−357″,75	−832″,26	−1306″,87
Y	−968″,16	−833″,50	−[illegible]9″,38	−565″,82	−432″,84	−300″,44

De ces valeurs de X et de Y, on conclut que D devient égal à ρ aux deux époques

$$t_1 = 2^h 14^m,94, \quad t_2 = 8^h 12^m,00,$$

et qu'ainsi la durée du passage T est égale à $5^h 57^m,06$.

Convenons que les lettres représentant les quantités variables, étant affectées de l'indice 1 ou de l'indice 2, désigneront les valeurs de ces quantités à l'époque t_1 ou à l'époque t_2. On trouvera, à l'aide des nombres précédents,

$$\begin{array}{ll}
X_1 = +531'',82, & X_2 = -879'',72, \\
Y_1 = -816'',77, & Y_2 = -419'',57, \\
\log D_1 = 2,98884, & \log D_2 = 2,98885, \\
\partial_1 = -56^\circ 55',8, & \partial_2 = -154^\circ 30',1, \\
\left(\frac{dD}{dt}\right)_1 = -3'',094, & \left(\frac{dD}{dt}\right)_2 = +3'',094, \\
\left(\frac{d\partial}{dt}\right)_1 = -571'',5, & \left(\frac{d\partial}{dt}\right)_2 = -571'',5,
\end{array}$$

Les valeurs des dérivées $\frac{dD}{dt}$, $\frac{d\partial}{dt}$ supposent que la minute est prise pour unité de temps. Elles montrent que, soit au moment de l'entrée, soit au moment de la sortie, la distance des centres des deux astres D varie de 1 seconde en $19^s,4$, et que, aux mêmes époques, l'angle de position ∂ varie de 1 minute en $6^s,3$. On conclut, en outre, des valeurs de ∂_1 et de ∂_2, que la ligne sensiblement droite décrite par le centre de Vénus sur le disque du Soleil soustend un arc de $97^\circ 41'$ environ (*), dont la corde est à une distance du centre égale aux 658 millièmes du rayon.

(*) Cet arc de $97^\circ 41'$ s'obtient en ajoutant à la différence de ∂_1 et de ∂_2 la variation qu'a éprouvée pendant la durée du passage l'angle compris entre l'écliptique et le parallèle passant par le centre du Soleil.

Dans la figure ci-dessous (*fig.* 1), le cercle *amnb* représente le disque du Soleil supposé vu à l'œil nu et non dans une lunette qui renverse les objets ; *ab* est le diamètre de ce

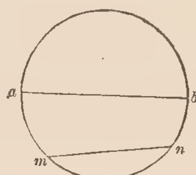


Fig. 1.

disque parallèle à l'écliptique, *a* étant l'extrémité orientale ; *mn* est la corde que le centre de Vénus décrit pendant le passage, et qui est parcourue dans le sens *mn*; les arcs *am* et *an* sont respectivement de $50^\circ 17',3$ et de $147^\circ 58',2$.

Circonstances du phénomène
pour un observateur placé à la surface de la Terre.

Si la parallaxe du Soleil était bien connue, on pourrait, à l'aide des données qui précèdent, calculer avec précision les circonstances du passage, tel qu'il sera observé en un lieu donné de la surface de la Terre ; mais ce n'est pas le but que nous nous proposons ici : nous voulons seulement donner le moyen de comparer les avantages que présenteront les diverses stations où les observateurs pourront aller s'établir. Il suffira, pour cet objet, de formules approchées dont la simplicité rendra la discussion plus facile, et qu'on réduira en nombres en adoptant une valeur provisoire de la parallaxe solaire.

Désignons par

$$\mathcal{A}_p,\quad \mathcal{D}_p,\quad \mathcal{A}'_p,\quad \mathcal{D}'_p,\quad D_p,\quad \partial_p,\quad X_p,\quad Y_p,$$

ce que les quantités

$$\mathcal{A},\quad \mathcal{D},\quad \mathcal{A}',\quad \mathcal{D}',\quad D,\quad \partial,\quad X,\quad Y,$$

définies ci-dessus pour un observateur placé au centre de la Terre, deviennent, par l'effet de la parallaxe, pour l'observateur situé à la surface ; en raisonnant comme précédemment, on trouvera

$$X_p = (\mathcal{A}'_p - \mathcal{A}_p)\cos\mathcal{D}_p - (\mathcal{D}'_p - \mathcal{D}_p)\,(\mathcal{A}'_p - \mathcal{A}_p)\sin\mathcal{D}_p \sin 1'',$$
$$Y_p = \mathcal{D}'_p - \mathcal{D}_p + \tfrac{1}{4}(\mathcal{A}'_p - \mathcal{A}_p)^2 \sin 2\mathcal{D}_p \sin 1''.$$

Dans les seconds termes de ces valeurs de X_p et de Y_p, lesquels sont de l'ordre du carré du demi-diamètre du Soleil, on peut négliger la parallaxe sans qu'il en résulte dans X_p et dans Y_p, d'erreur atteignant un dixième de seconde. Nous aurons donc, à ce degré d'approximation,

$$X_p = (\mathcal{A}'_p - \mathcal{A}_p)\cos\mathcal{D}_p - (\mathcal{D}' - \mathcal{D})\,(\mathcal{A}' - \mathcal{A})\sin\mathcal{D}\sin 1'',$$
$$Y_p = \mathcal{D}'_p - \mathcal{D}_p + \tfrac{1}{4}(\mathcal{A}' - \mathcal{A})^2 \sin 2\mathcal{D}\sin 1''.$$

Si d'ailleurs on écrit $\mathcal{D}$ au lieu de $\mathcal{D}_p$ dans le facteur $\cos\mathcal{D}_p$, l'erreur qui en résultera dans le produit $(\mathcal{A}'_p - \mathcal{A}_p)\cos\mathcal{D}_p$ sera inférieure à 0'',02 ; nous remplacerons donc la première des deux formules précédentes par celle-ci :

$$X_p = (\mathcal{A}'_p - \mathcal{A}_p)\cos\mathcal{D} - (\mathcal{D}' - \mathcal{D})\,(\mathcal{A}' - \mathcal{A})\sin\mathcal{D}\sin 1'',$$

et, si nous posons

$$X_p = X + U,\quad Y_p = Y + V,$$

nous aurons

$$U = [\mathcal{A}'_p - \mathcal{A}' - (\mathcal{A}_p - \mathcal{A})]\cos\mathcal{D},\quad V = \mathcal{D}'_p - \mathcal{D}' - (\mathcal{D}_p - \mathcal{D}).$$

Soient maintenant $O\xi$, $O\eta$, $O\zeta$, trois axes rectangulaires ayant leur origine au centre O de la Terre et dirigés, le

premier vers l'équinoxe du printemps, le second vers le point de l'équateur dont l'ascension droite est de 90 degrés, le troisième vers le pôle nord. Nommons ξ, η, ζ les valeurs, à l'époque t, des coordonnées par rapport à ces trois axes du lieu occupé par l'observateur; nous aurons, par les formules connues de parallaxes,

$$\mathcal{A}_p = \mathcal{A} + \frac{\xi \sin \mathcal{A} - \eta \cos \mathcal{A}}{\Delta \cos \mathcal{D} \sin 1''},$$

$$\mathcal{D}_p = \mathcal{D} + \frac{\xi \sin \mathcal{D} \cos \mathcal{A} + \eta \sin \mathcal{D} \sin \mathcal{A} - \zeta \cos \mathcal{D}}{\Delta \sin 1''},$$

$$\mathcal{A}'_p = \mathcal{A}' + \frac{\xi \sin \mathcal{A}' - \eta \cos \mathcal{A}'}{\Delta' \cos \mathcal{D}' \sin 1''},$$

$$\mathcal{D}'_p = \mathcal{D}' + \frac{\xi \sin \mathcal{D}' \cos \mathcal{A}' + \eta \sin \mathcal{D}' \sin \mathcal{A}' - \zeta \cos \mathcal{D}'}{\Delta' \sin 1''},$$

dont les deux dernières peuvent être remplacées par celles-ci :

$$\mathcal{A}'_p = \mathcal{A}' + \frac{\xi \sin \mathcal{A} - \eta \cos \mathcal{A}}{\Delta' \cos \mathcal{D} \sin 1''},$$

$$\mathcal{D}'_p = \mathcal{D}' + \frac{\xi \sin \mathcal{D} \cos \mathcal{A} + \eta \sin \mathcal{D} \sin \mathcal{A} - \zeta \cos \mathcal{D}}{\Delta' \sin 1''},$$

sans qu'il en résulte dans $\mathcal{A}'_p$ et $\mathcal{D}'_p$ d'erreur s'élevant à $0'',2$. En substituant ces valeurs de $\mathcal{A}_p$, $\mathcal{D}_p$, $\mathcal{A}'_p$, $\mathcal{D}'_p$ dans les expressions de U et de V, et posant, pour abréger,

$$\frac{1}{\Delta'} - \frac{1}{\Delta} = W,$$

nous trouverons

$$U = \frac{W}{\sin 1''} (\xi \sin \mathcal{A} - \eta \cos \mathcal{A}),$$

$$V = \frac{W}{\sin 1''} (\xi \sin \mathcal{D} \cos \mathcal{A} + \eta \sin \mathcal{D} \sin \mathcal{A} - \zeta \cos \mathcal{D}).$$

Ajoutons que, des équations

$$D_p \cos \partial_p = X + U, \quad D_p \sin \partial_p = Y + V,$$

on tire

$$D_p = \sqrt{(X+U)^2 + (Y+V)^2}, \quad \partial_p = \text{arc tang}\, \frac{Y+V}{X+U};$$

d'où il suit, en négligeant le carré de la parallaxe solaire,

$$D_p = D + U\cos\partial + V\sin\partial, \quad \partial_p = \partial + \frac{V\cos\partial - U\sin\partial}{D\sin 1''}.$$

On peut donner de ces diverses formules une interprétation géométrique qu'il est à propos d'indiquer ici. Observons d'abord que l'on peut négliger l'aplatissement du globe terrestre sans altérer U et V, et, par suite, X_p et Y_p de quantités montant à 0″, 1 ; nous regarderons donc, dans tout ce qui va suivre, la Terre comme sphérique. Cela posé, nommons N le point de l'équateur terrestre dont l'ascension droite à l'heure t est égale à $\mathcal{A} - 90°$; ce point est un des pôles du méridien dans lequel se trouve le Soleil à ce même instant, et le rayon ON fait, avec les axes Oξ, Oη, Oζ, des angles qui ont pour cosinus

$$\sin\mathcal{A}, \quad -\cos\mathcal{A}, \quad 0.$$

Il suit de là que $\xi\sin\mathcal{A} - \eta\cos\mathcal{A}$ est la projection sur ON du rayon terrestre aboutissant au point M, où est placé l'observateur ; mais ce rayon a pour longueur $\Pi \sin 1''$, Π étant la valeur moyenne en secondes d'arc de la parallaxe solaire ; on a donc

$$\xi\sin\mathcal{A} - \eta\cos\mathcal{A} = \Pi\sin 1''\cos MN,$$

et, par suite,

$$U = \Pi W \cos MN.$$

D'un autre côté, appelons ν le point de la surface de la Terre qui, dans le cas de $\varpi > 0$, a $\mathcal{A}$ pour ascension droite et $\varpi - 90°$ pour déclinaison, et qui, dans le cas de $\varpi < 0$, a $\mathcal{A} + 180°$ pour ascension droite et $-\varpi - 90°$ pour décli-

naison ; les cosinus des angles du rayon $O\nu$ avec $O\xi$, $O\eta$, $O\zeta$ seront

$$\sin \varpi \cos \mathcal{A}, \quad \sin \varpi \sin \mathcal{A}, \quad -\cos \varpi.$$

Il en résulte que $\xi \sin \varpi \cos \mathcal{A} + \eta \sin \varpi \sin \mathcal{A} - \zeta \cos \varpi$ est la projection de OM sur $O\nu$, c'est-à-dire qu'on a

$$\xi \sin \varpi \cos \mathcal{A} + \eta \sin \varpi \sin \mathcal{A} - \zeta \cos \varpi = \Pi \sin 1'' \cos M\nu,$$

et, par conséquent,

$$V = \Pi W \cos M\nu.$$

On remarquera que les points N et ν sont l'un et l'autre à 90 degrés du point de la Terre qui a le Soleil à son zénith à l'heure t, et qu'ainsi tous deux appartiennent au cercle d'illumination C qui, à cet instant, limite l'hémisphère éclairé.

Des formules qu'on vient d'établir, on conclut

$$U \cos \partial + V \sin \partial = \Pi W (\cos MN \cos \partial + \cos M\nu \sin \partial).$$

Or, si, à partir du point N, on porte sur le cercle d'illumination $N\nu$ un arc NA égal à ∂ (dans le sens $N\nu$ ou dans le sens opposé, suivant que ∂ est positif ou négatif), on aura

$$\cos MA = \cos MN \cos \partial + \cos M\nu \sin \partial ;$$

l'équation précédente pourra donc s'écrire

$$U \cos \partial + V \sin \partial = \Pi W \cos MA,$$

d'où il suit

$$D_p = D + \Pi W \cos MA.$$

La quantité W étant positive, on voit que, à l'époque t, D_p aura sa valeur maximum pour l'observateur situé en A, et sa valeur minimum pour l'observateur situé au point B, antipode de A, et appartenant, comme lui, au cercle d'illumination C. Ajoutons que, à cette même époque t, D_p aura

la même valeur pour tous les points d'un cercle ayant les points A et B pour pôles.

On a pareillement

$$V \cos \quad - U \sin \partial = \Pi W (\cos M\nu \cos \partial - \cos MN \sin \partial).$$

Or, si, à partir du point N, on porte sur le cercle $N\nu$ (ou C) un arc NE égal à $\partial + 90°$ (dans le sens $N\nu$ ou dans le sens opposé, suivant que $\partial + 90°$ est positif ou négatif), on aura

$$\cos ME = \cos M\nu \cos \partial - \cos MN \sin \partial ;$$

l'équation précédente peut donc s'écrire

$$V \cos \partial - U \sin \partial = \Pi W \cos ME,$$

d'où il résulte

$$\partial \ = \partial + \frac{\Pi W}{D \sin 1''} \cos ME.$$

Il suit de là que, à l'époque t, ∂_p aura sa valeur maximum pour l'observateur situé au point E, et sa valeur minimum pour l'observateur situé au point F, antipode de E, et appartenant, comme lui, au cercle d'illumination C (*). Ajoutons que à cette même époque t, ∂_p aura la même valeur pour tous les points d'un cercle ayant les points E et F pour pôles.

Ces expressions de D_p et de ∂_p sont très-simples, et montrent clairement comment ces quantités varient avec la situation de l'observateur à la surface du globe ; mais, pour le calcul numérique, il sera plus commode de les mettre sous une autre forme, que nous allons maintenant indiquer.

Appelons Λ la latitude du lieu M de l'observation, et dé-

(*) Les quatre points A, E, B, F divisent le cercle C en quatre quadrants.

signons par L sa longitude comptée positivement vers l'est à partir du méridien de Paris; on aura

$$\xi = \Pi \sin 1'' \cos \Lambda \cos(L + \sigma), \quad \eta = \Pi \sin 1'' \cos \Lambda \sin(L + \sigma), \quad \zeta = \Pi \sin 1'' \sin \Lambda.$$

En substituant ces valeurs dans les premières expressions de U et de V, on trouve

$$U = \Pi W \cos \Lambda \sin(\mathcal{A} - \sigma - L),$$
$$V = \Pi W [\sin \mathcal{D} \cos \Lambda \cos(\mathcal{A} - \sigma - L) - \cos \mathcal{D} \sin \Lambda],$$

et de là on conclut

$$U \cos \partial + V \sin \partial = \Pi W (a \cos \Lambda \cos L + b \cos \Lambda \sin L + c \sin \Lambda),$$
$$V \cos \partial - U \sin \partial = \Pi W (e \cos \Lambda \cos L + f \cos \Lambda \sin L + g \sin \Lambda),$$

où l'on a fait, pour abréger,

$$a = \sin(\mathcal{A} - \sigma) \cos \partial + \sin \mathcal{D} \cos(\mathcal{A} - \sigma) \sin \partial,$$
$$b = -\cos(\mathcal{A} - \sigma) \cos \partial + \sin \mathcal{D} \sin(\mathcal{A} - \sigma) \sin \partial,$$
$$c = -\cos \mathcal{D} \sin \partial,$$
$$e = -\sin(\mathcal{A} - \sigma) \sin \partial + \sin \mathcal{D} \cos(\mathcal{A} - \sigma) \cos \partial,$$
$$f = \cos(\mathcal{A} - \sigma) \sin \partial + \sin \mathcal{D} \sin(\mathcal{A} - \sigma) \cos \partial,$$
$$g = -\cos \mathcal{D} \cos \partial \ (^*).$$

Il en résulte

$$\text{(I)} \qquad D_p = D + \Pi W (a \cos \Lambda \cos L + b \cos \Lambda \sin L + c \sin \Lambda),$$

$$\text{(II)} \qquad \partial_p = \partial + \frac{\Pi W}{D \sin 1''} (e \cos \Lambda \cos L + f \cos \Lambda \sin L + g \sin \Lambda).$$

Observons que les coefficients a, b, c, e, f, g sont indépen-

---

(*) On peut rendre monômes les expressions de a, b, e, f à l'aide des quantités auxiliaires $\Phi, \varphi, \Psi, \psi$ déterminées par les équations

$$\Phi \sin \varphi = \sin(\mathcal{A} - \sigma), \qquad \Phi \cos \varphi = \sin \mathcal{D} \cos(\mathcal{A} - \sigma),$$
$$\Psi \sin \psi = \sin \mathcal{D} \sin(\mathcal{A} - \sigma), \qquad \Psi \cos \psi = \cos(\mathcal{A} - \sigma);$$

on a, en effet,

$$a = \Phi \sin(\partial + \varphi), \qquad b = -\Psi \cos(\partial + \psi),$$
$$e = \Phi \cos(\partial + \varphi), \qquad f = \Psi \sin(\partial + \psi).$$

dants de la position du point M à la surface de la Terre, mais qu'ils varient avec le temps, principalement à cause des changements rapides que subissent pendant le passage les angles σ et ∂.

Comme on a

$$a^2+b^2+c^2=1,$$

on pourra déterminer une longitude α et une latitude β qui satisfassent aux équations

$$\cos\beta\cos\alpha=a,\quad \cos\beta\sin\alpha=b,\quad \sin\beta=c,$$

et le point de la surface de la Terre qui aura α pour longitude et β pour latitude sera précisément le point A, pour lequel D_p est maximum à l'époque t.

Pareillement, à cause de la relation

$$e^2+f^2+g^2=1,$$

on pourra déterminer une longitude γ et une latitude δ qui satisfassent aux équations

$$\cos\delta\cos\gamma=e,\quad \cos\delta\sin\gamma=f,\quad \sin\delta=g,$$

et le point de la surface de la Terre qui aura γ pour longitude et δ pour latitude sera le point E, pour lequel ∂_p est maximum à l'époque t.

Supposons maintenant qu'on veuille déterminer la parallaxe solaire en mesurant au même instant, en deux lieux différents, la distance des centres D_p de Vénus et du Soleil, ce qu'on pourra faire, au moment même du passage, à l'aide d'appareils micrométriques, ou, plus tard, sur des empreintes photographiques ; il sera aisé de prévoir, pour un instant donné t du passage, quelles seront les stations les plus favorables. A cet effet, on calculera pour l'époque t la longitude α et la latitude β du point A ; on marquera ce

point sur une mappemonde, ainsi que son antipode B, et l'on tracera, pour la même heure, le cercle d'illumination C. Cela fait, on cherchera dans l'hémisphère éclairé quelles sont les portions de continent ou les îles voisines soit du point A, soit du point B; puis, à l'aide de la formule (I), on calculera, pour les unes et pour les autres, les valeurs de D_p, et la combinaison la plus avantageuse sera formée, toutes choses égales d'ailleurs, des deux stations pour lesquelles les valeurs de D_p différeront le plus.

Cette recherche devra être répétée pour une suite d'époques comprises dans la durée du passage, d'heure en heure par exemple, ou plus souvent, si on le juge à propos; mais il convient de remarquer que les observations de distances faites vers le milieu du passage, c'est-à-dire lorsque D est voisin de son minimum, offriront un avantage particulier. En effet, les mesures que l'on aura à comparer ne se rapporteront pas rigoureusement au même instant absolu, et il faudra réduire l'une au temps de l'autre; or cette réduction se fera d'autant plus sûrement que D variera avec plus de lenteur. La rapidité avec laquelle D varie est indiquée à chaque instant par la valeur de la dérivée $\frac{dD}{dt}$.

On pourra encore chercher à déterminer la parallaxe solaire en comparant les valeurs mesurées, au même instant, en deux lieux différents, de l'angle de position ∂_p. Pour trouver les stations qui, à une heure donnée t, formeront la combinaison la plus convenable, on calculera, pour l'époque t, la longitude γ et la latitude δ du point E, et on le marquera sur une mappemonde, ainsi que son antipode F; puis on cherchera, dans l'hémisphère éclairé, quelles

sont les portions de continent ou les îles voisines soit du point E, soit du point F; on calculera, à l'aide de la formule (II), les valeurs de ∂_p pour les divers points remplissant cette condition, et la combinaison la meilleure sera, toutes choses égales d'ailleurs, formée des deux stations pour lesquelles les angles ∂_p seront le plus différents.

Si l'on veut comparer, au point de vue de la précision avec laquelle elles donneront la parallaxe, les différences d'angles de position mesurées à diverses époques du passage, il est clair qu'il faudra multiplier chacune d'elles par la valeur correspondante de D. Plus le produit ainsi obtenu sera grand, plus la détermination de la parallaxe à l'aide des angles de position sera précise.

Ajoutons que, si les angles de position mesurés dans deux stations ne correspondent pas exactement au même instant absolu, la réduction du temps de l'une à celui de l'autre se fera d'autant plus sûrement que le produit par D de la dérivée $\frac{d\partial}{dt}$ sera plus petit.

Mais, si l'on veut s'en tenir à l'observation des contacts, ainsi que l'avait proposé Halley, il faudra, pour trouver les stations les plus favorables à la détermination de la parallaxe, chercher celles qui donneront les plus grandes différences soit entre les heures d'entrée du centre de Vénus sur le Soleil, soit entre les heures de sortie, soit enfin entre les durées du passage de ce même centre. La solution approchée de ce problème se déduit aisément des formules qui précèdent.

Soit $t_1 + \delta t_1$ l'époque de l'entrée pour l'observateur M, dont la longitude et la latitude sont L et Λ; on aura l'é-

quation approchée

$$\left[X_1+\left(\frac{dX}{dt}\right)_1\delta t_1+U_1\right]^2+\left[Y_1+\left(\frac{dY}{dt}\right)_1\delta t_1+V_1\right]^2=\rho_1^2,$$

ou bien, en observant que $X_1^2+Y_1^2$ est égal à ρ_1^2, et négligeant les carrés et les produits de δt_1, U_1, V_1,

$$\left[X_1\left(\frac{dX}{dt}\right)_1+Y_1\left(\frac{dY}{dt}\right)_1\right]\delta t_1+X_1U_1+Y_1V_1=0,$$

ou encore

$$\left(\frac{dD}{dt}\right)_1\delta t_1+U_1\cos\partial_1+V_1\sin\partial_1=0.$$

Mais on a, pour une époque quelconque t du passage,

$$U\cos\partial+V\sin\partial=\Pi W\cos MA;$$

il en résulte

$$\delta t_1=-\frac{\Pi W_1}{\left(\frac{dD}{dt}\right)_1}\cos MA_1.$$

Si l'on observe que, au moment de l'entrée, la distance D diminue, et qu'ainsi le diviseur $\left(\frac{dD}{dt}\right)_1$ est négatif, on conclura de cette formule que l'entrée la plus tardive aura lieu pour le point A_1, que la plus hâtive aura lieu pour le point antipode B_1, et que l'entrée aura lieu au même instant pour tous les points d'un cercle ayant A_1 et B_1 pour pôles.

D'après cela, on calculera la longitude α_1 et la latitude β_1 du point A_1 à l'aide des formules

$$\cos\beta_1\cos\alpha_1=a_1,\quad \cos\beta_1\sin\alpha_1=b_1,\quad \sin\beta_1=c_1;$$

on marquera ce point sur une mappemonde, ainsi que le point opposé B_1; on tracera le cercle d'illumination C_1 pour l'époque t_1, et, dans l'hémisphère éclairé, on cherchera les portions solides de la surface terrestre qui sont voisines

soit de A_1, soit de B_1. Pour chacune des stations remplissant l'une ou l'autre condition, on calculera $t_1 + \delta t_1$ par la formule

$$(1) \qquad t_1 + \delta t_1 = t_1 + P_1 \cos A \cos L + Q_1 \cos A \sin L + R_1 \sin A,$$

où l'on a

$$P_1 = -\frac{\Pi W_1}{\left(\frac{dD}{dt}\right)_1} a_1, \quad Q_1 = -\frac{\Pi W_1}{\left(\frac{dD}{dt}\right)_1} b_1, \quad R_1 = -\frac{\Pi W_1}{\left(\frac{dD}{dt}\right)_1} c_1.$$

Celles pour lesquelles les valeurs de $t_1 + \delta t_1$ différeront le plus formeront, toutes choses égales d'ailleurs, la combinaison la plus convenable à la détermination de la parallaxe par la différence des heures d'entrée.

On verra pareillement, à l'aide de la formule

$$\delta t_2 = -\frac{\Pi W_2}{\left(\frac{dD}{dt}\right)_2} \cos MA_2,$$

dans laquelle le diviseur $\left(\frac{dD}{dt}\right)_2$ est positif, que la sortie la plus hâtive aura pour le point A_2 et la plus tardive pour le point B_2, la sortie ayant lieu d'ailleurs au même instant pour tous les points d'un cercle ayant A_2 et B_2 pour pôles.

La longitude α_2 et la latitude β_2 du point A_2 ayant été calculées par les formules

$$\cos \beta_2 \cos \alpha_2 = a_2, \quad \cos \beta_2 \sin \alpha_2 = b_2, \quad \sin \beta_2 = c_2,$$

si l'on marque ce point sur la carte, ainsi que son antipode B_2, et qu'on trace le cercle d'illumination C_2, on verra quelles sont, dans l'hémisphère éclairé, les stations voisines de A_2 ou de B_2. Pour chacune d'elles, le calcul de $t_2 + \delta t_2$ se fera par la formule

$$(2) \qquad t_2 + \delta t_2 = t_2 + P_2 \cos A \cos L + Q_2 \cos A \sin L + R_2 \sin A,$$

où l'on a

$$P_2 = -\frac{\Pi W_2}{\left(\frac{dD}{dt}\right)_2} a_2, \quad Q_2 = -\frac{\Pi W_2}{\left(\frac{dD}{dt}\right)_2} b_2, \quad R_2 = -\frac{\Pi W_2}{\left(\frac{dD}{dt}\right)_2} c_2,$$

et, toutes choses égales d'ailleurs, la combinaison de deux stations fournira, par la différence des heures de sortie, une détermination de la parallaxe d'autant plus précise que la différence des valeurs calculées de $t_2 + \delta t_2$ sera plus grande.

Soit enfin $T + \delta T$ la durée du passage du centre pour l'observateur situé en M; on aura

$$T + \delta T = t_2 + \delta t_2 - (t_1 + \delta t_1).$$

Si donc on pose

$$P_2 - P_1 = P_3, \quad Q_2 - Q_1 = Q_3, \quad R_2 + R_1 = R_3,$$

il viendra

$$(3) \qquad T + \delta T = T + P_3 \cos A \cos L + Q_3 \cos A \sin L + R_3 \sin A.$$

D'après cela, si l'on détermine un nombre positif h, une longitude η et une latitude θ par les équations

$$h \cos\theta \cos\eta = P_3, \quad h \cos\theta \sin\eta = Q_3, \quad h \sin\theta = R_3$$

et qu'on appelle A_3 le point de la surface de la Terre dont la longitude et la latitude sont η et θ, on aura

$$T + \delta T = T + h \cos MA_3.$$

On voit que le plus long passage correspondra au point A_3 et le plus court au point antipode B_3; la durée du passage restera la même tout le long d'un cercle ayant ces deux points pour pôles. Cela posé, marquons les deux points A_3 et B_3 sur une mappemonde, et traçons-y les cercles d'illumination C_1 et C_2; ces deux cercles partagent la sphère en quatre fuseaux : le premier $\mathcal{F}$, éclairé par le So-

leil aux heures de t_1 et t_2; le second $\mathcal{F}'$, éclairé à l'heure t_1 et non à l'heure t_2; le troisième $\mathcal{F}''$, éclairé à l'heure t_2 et non à l'heure t_1; le quatrième $\mathcal{F}'''$, qui est dans l'ombre à ces deux époques. Le passage complet ne pouvant être vu que par les observateurs situés dans le fuseau $\mathcal{F}$, on cherchera dans ce fuseau les parties solides du globe situées le plus près possible soit du point A_3 soit du point antipode B_3. A l'aide de la formule (3), on calculera la valeur de $T + \delta T$ pour chaque station remplissant l'une ou l'autre condition. Toutes choses égales d'ailleurs, les durées du passage, observées dans deux de ces stations, conduiront à une détermination de la parallaxe d'autant plus précise que la différence des durées calculées sera plus grande (*).

(*) On observe en réalité, non pas l'entrée ou la sortie du centre de Vénus sur le disque du Soleil, mais les contacts des deux astres. Il est aisé d'avoir des expressions approchées des heures auxquelles ces contacts se produiront.

Représentons par $t_1 + \delta_e t_1$, $t_2 + \delta_e t_2$ les heures des contacts extérieurs, et par $t_1 + \delta_i t_1$, $t_2 + \delta_i t_2$ les heures des contacts intérieurs. On devra avoir, à très-peu près,

$$\left[X_1 + \left(\frac{dX}{dt}\right)_1 \delta_e t_1 + U_1\right]^2 + \left[Y_1 + \left(\frac{dY}{dt}\right)_1 \delta_e t_1 + V_1\right]^2 = (\rho_1 + \rho'_1)^2,$$

ou, en observant que $X_1^2 + Y_1^2$ est égal à ρ_1^2 et négligeant les termes de deux dimensions en U_1, V_1, $\delta_e t_1$, ρ'_1,

$$\left[X_1\left(\frac{dX}{dt}\right)_1 + Y_1\left(\frac{dY}{dt}\right)_1\right]\delta_e t_1 + X_1U_1 + Y_1V_1 = \rho_1\rho'_1.$$

De cette équation, retranchons l'équation

$$\left[X_1\left(\frac{dX}{dt}\right)_1 + Y_1\left(\frac{dY}{dt}\right)_1\right]\delta t_1 + X_1U_1 + Y_1V_1 = 0$$

obtenue ci-dessus ; il viendra

$$\left[X_1\left(\frac{dX}{dt}\right)_1 + Y_1\left(\frac{dY}{dt}\right)_1\right](\delta_e t_1 - \delta t_1) = \rho_1\rho'_1,$$

d'où l'on tire

$$\delta_e t_1 = \delta t_1 + \frac{\rho_1\rho'_1}{X_1\left(\frac{dX}{dt}\right)_1 + Y_1\left(\frac{dY}{dt}\right)_1},$$

ou bien

Observons que les points A_1 et B_1 sont les pôles du grand cercle dont le plan a pour équation

$$a_1 x + b_1 y + c_1 z = 0,$$

lorsqu'on prend pour axes des x et des y les rayons terrestres dirigés vers les points de l'équateur qui ont pour longitudes zéro et 90 degrés, l'axe des z étant dirigé vers le pôle nord. Pareillement les points A_2 et B_2 sont les pôles du grand cercle dont le plan a pour équation

$$a_2 x + b_2 y + c_2 z = 0,$$

et les points A_3 et B_3 sont les pôles du grand cercle dont le plan est représenté par l'équation

$$P_3 x + Q_3 y + R_3 z = 0.$$

Mais de ces trois équations, les deux premières, quand on les multiplie respectivement par $-\frac{\Pi W_1}{\left(\frac{dD}{dt}\right)_1}$ et par $-\frac{\Pi W_2}{\left(\frac{dD}{dt}\right)_2}$, deviennent

$$P_1 x + Q_1 y + R_1 z = 0, \quad P_2 x + Q_2 y + R_2 z = 0,$$

et la troisième peut s'écrire

$$(P_2 - P_1)x + (Q_2 - Q_1)y + (R_2 - R_1)z = 0.$$

On voit que les trois plans qu'elles représentent se coupent suivant une même droite; il s'ensuit que les pôles des grands cercles déterminés par ces plans sont dans un même plan passant par le centre de la sphère, et qu'ainsi les six points

---

$$\delta_e t_1 = \delta t_1 + \frac{\rho'_1}{\left(\frac{dD}{dt}\right)_1}.$$

On trouvera de même

$$\delta_i t_1 = \delta t_1 - \frac{\rho'_1}{\left(\frac{dD}{dt}\right)_1}, \quad \delta_i t_2 = \delta t_2 - \frac{\rho'_2}{\left(\frac{dD}{dt}\right)_2}, \quad \delta_e t_2 = \delta t_2 + \frac{\rho'_2}{\left(\frac{dD}{dt}\right)_2}.$$

A_1, B_1, A_2, B_2, A_3, B_3 appartiennent à un même grand cercle.

Nous allons maintenant rapporter les nombres auxquels conduisent les formules approchées qui précèdent, quand on les applique au passage du 6 décembre 1882. Les calculs ont été faits en attribuant à la parallaxe solaire moyenne la valeur 8″,86. Nous transcrirons d'abord les résultats relatifs aux heures d'entrée et de sortie et à la durée du passage.

A l'aide des éléments numériques donnés au commencement de cette Note, on trouve aux heures t_1 et t_2 :

	Heure t_1.	Heure t_2.
Ascension droite du Soleil. . . .	253° 5′	253°21′
Déclinaison du Soleil.	— 22.32	— 22.34

On en conclut les positions géographiques suivantes pour les lieux de la Terre qui ont le Soleil à leur zénith à l'une et à l'autre de ces deux époques :

	Heure t_1.	Heure t_2.
Longitude..	—35°55′	—125° 9′
Latitude.	—22.32	— 22.34

Les valeurs de δt_1, δt_2, δT, pour un lieu quelconque M de la Terre, sont

$$\delta t_1 = +7^m,9 \cos A_1M, \quad \delta t_2 = -7^m,9 \cos A_2M, \quad \delta T = +14^m,5 \cos A_3M,$$

les points A_1, A_2, A_3 et leurs antipodes B_1, B_2, B_3 ayant les positions géographiques indiquées dans le tableau suivant:

	Longitude.	Latitude.		Longitude.	Latitude.
A_1	— 95°26′	+50°43′	B_1	+ 84°34′	—50°43′
A_2	— 45.31	+23.25	B_2	+134.29	—23.25
A_3	+114.24	—39.42	B_3	— 65.36	+39.42

A l'aide de ces données, on a pu tracer sur la mappe-

monde jointe à la présente Note (1re carte), les deux cercles d'illumination appelés ci-dessus C_1 et C_2, et marquer les points A_1, B_1, A_2, B_2, A_3, B_3, dont les deux premiers sont situés sur le cercle C_1, tandis que le troisième et le quatrième appartiennent au cercle C_2; on a également figuré les cercles décrits de ces six points comme pôles avec des intervalles de 30, de 60 et de 90 degrés, en distinguant, par un tracé continu, la partie de chacune de ces lignes située dans la région où l'on peut voir le phénomène dont elle indique l'heure ou la durée, tandis que la partie située dans la région où ce phénomène est invisible est figurée par des traits discontinus.

L'inspection de cette carte montre que c'est dans le nord de l'Amérique, aux environs de New-York, qu'on pourra observer les plus courts passages, tandis que les plus longs s'observeraient en des points peu abordables des régions australes, tels que les monts Termination, la Terre Sabrine, la Terre Victoria, la Terre de Palmer; si l'on exclut ces localités comme étant d'un accès trop difficile, il faudra, pour obtenir de longs passages, s'établir aux îles Diego-Ramirez ou aux environs du détroit de Magellan.

On verra, à l'aide de la même carte, que les entrées les plus hâtives s'observeront dans l'île de Kerguélen et dans les îles voisines, les plus tardives dans le nord de l'Amérique, vers Montréal et New-York.

Enfin les sorties les plus hâtives correspondront aux Antilles et à la Guyane, et les plus tardives à la côte orientale de l'Australie.

Le calcul effectif des heures d'entrée et de sortie, et de la durée du passage en un lieu de longitude L et de lati-

tude Λ, se fera à l'aide des formules (1), (2) et (3), qui deviennent, pour le passage considéré,

$$t_1 + \delta t_1 = 2^h 14^m,94 - (\bar{1},6760) \cos \Lambda \cos L - (0,6983) \cos \Lambda \sin L + (0,7875) \sin \Lambda,$$

$$t_2 + \delta t_2 = 8^h 12^m,00 - (0,7069) \cos \Lambda \cos L + (0,7148) \cos \Lambda \sin L - (0,4981) \sin \Lambda,$$

$$T + \delta T = 5^h 57^m,06 - (0,6644) \cos \Lambda \cos L + (1,0077) \cos \Lambda \sin L - (0,9675) \sin \Lambda.$$

Les nombres entre parenthèses sont les logarithmes des facteurs par lesquels on doit multiplier cos Λ cos L, cos Λ sin L, sin Λ; la minute est prise pour unité de temps.

Le tableau ci-après contient, pour un certain nombre de localités rangées par ordre de latitudes, les heures d'entrée et de sortie du centre de Vénus sur le disque du Soleil calculées à l'aide des formules précédentes (*); on y a joint les hauteurs approchées du Soleil au-dessus de l'horizon à l'heure t_1 et à l'heure t_2.

(*) Les heures approchées des contacts s'obtiendront en ajoutant ou retranchant $10^m,15$ aux heures d'entrée et de sortie.

LOCALITÉS.	LONGITUDE.	LATITUDE.	HEURE de l'entrée en temps moyen de Paris.	HEURE de la sortie en temps moyen de Paris.	HAUTEUR DU SOLEIL à l'heure t_1.	HAUTEUR DU SOLEIL à l'heure t_2.
	° ′	°	h m	h m	°	°
Valentia (Irlande).....	− 12.40,95	+ 51.55,38	2.20,2	»	13	»
Ile Vancouver........	− 126. 0,00	+ 49. 0,00	»	8. 8,8	»	18
Paris...............	0. 0,00	+ 48.50,18	2.19,2	»	12	»
Cap Raze (Terre-Neuve).	− 55.22,00	+ 46.39,42	2.22,0	»	19	»
Montréal.............	− 75.53,30	+ 45.30,40	2.22,6	8. 5,4	13	9
New-York............	− 76.20,20	+ 40.42,72	2.22,5	8. 5,2	16	12
Honolulu.............	− 160.10,63	+ 21.18,40	»	8.13,7	»	34
La Pointe-à-Pitre.....	− 63.51,53	+ 16.14,20	2.20,8	8. 4,5	43	19
Cayenne.............	− 54.39,67	+ 4.56,47	2.19,3	8. 4,6	57	16
Saint-Paul-de-Loanda.	+ 10.52,55	− 8.48,10	2.12,6	»	43	»
Noukahiva...........	− 142.24,25	− 8.55,22	»	8.13,4	»	69
Pisco................	− 78.31,65	− 13.42,70	2.18,2	8. 6,8	49	45
Sainte-Hélène.........	− 8. 2,88	− 15.55,00	2.13,5	»	63	»
Taïti.................	− 151.54,50	− 17.32,18	»	8.14,9	»	64
Ile de la Réunion.....	+ 53. 6,75	− 20.51,63	[illegible]. 8,8	»	9	»
Rio-Janeiro..........	− 45.28,80	− 22.54,25	2.15,5	8. 6,5	81	18
Ile de Pâques.........	− 111.45,38	− 27. 9,87	2.16,4	8.10,8	22	77
Port Natal............	+ 28.10,00	− 29,50,00	2. 9,5	»	33	»
Valparaiso...........	− 73.57,67	− 33. 2,20	2.15,5	8. 8,4	55	44
Santiago (Chili).......	− 73. 0,75	− 33.26,70	2.15,4	8. 8,4	56	43
Ile Juan-Fernandez....	− 81. 9,33	− 33.38,00	2.15,6	8. 8,8	49	50
Sidney..............	+ 148.53,30	− 33.51,68	»	8.19,6	»	16
Le Cap..............	+ 16. 8,60	− 33.56,05	2.10,0	»	43	»
Montévideo	− 58.31,30	− 34.54,48	2.14,7	8. 8,0	67	31
Ile Tristan-da-Cunha..	− 14.22,40	− 37. 5,60	2.11,9	»	66	»
San-Carlos (Ile Chiloe).	− 76. 9,08	− 41.52,00	2.14,4	8. 9,4	51	45
Ile de Kerguélen......	+ 67.52,00	− 49.54,50	2. 7,2	»	9	»
Punta-Arenas.........	− 73.13,27	− 53. 9,70	2.12,8	8.10,7	48	40
Iles Diego-Ramirez...	− 71. 1,00	− 56.28,83	2.12,4	8.11,0	47	38
Monts Termination ...	+ 100. 0,00	− 63. 0,00	2. 7,3	8.17,5	2	3
Terre de Palmer......	− 66. 0,00	− 65. 0,00	2.11,2	8.12,0	43	33
Terre Victoria........	+ 167. 0,00	− 72. 0,00	2. 8,9	8.16,9	6	28

Dans le tableau suivant, les diverses localités se trouvent rangées ou dans l'ordre des durées des passages, ou dans celui des heures d'entrée, ou dans celui des heures de sortie.

LOCALITÉS.	DURÉE du passage.	LOCALITÉS.	HEURE de l'entrée t. moyen de Paris.	LOCALITÉS.	HEURE de la sortie t. moyen de Paris.
	h m		h m		h m
New-York	5.42,7	Ile de Kerguélen	2. 7,2	La Pointe-à-Pitre	8. 4,5
Montréal	5.42,7	Monts Termination	2. 7,3	Cayenne	8. 4,6
La Pointe-à-Pitre	5.43,7	Ile de la Réunion	2. 8,8	New-York	8. 5,2
Cayenne	5.45,3	Terre Victoria	2. 8,9	Montréal	8. 5,4
Pisco	5.48,7	Port-Natal	2. 9,5	Rio-Janeiro	8. 6,5
Rio-Janeiro	5.51,0	Le Cap	2.10,0	Pisco	8. 6,8
Valparaiso	5.52,9	Terre de Palmer	2.11,2	Montevideo	8. 8,0
Santiago	5.52,9	Ile Tristan-da-Cunha	2.11,9	Santiago	8. 8,4
Ile Juan-Fernandez	5.53,2	Ile Diego-Ramirez	2.12,4	Valparaiso	8. 8.4
Montevideo	5.53,3	Saint-Paul-de-Loanda	2.12,6	Ile Juan-Fernandez	8. 8,8
Ile de Pâques	5.54,4	Punta-Arenas	2.12,8	Ile Vancouver	8. 8,8
San-Carlos	5.55,1	Sainte-Hélène	2.13,5	San-Carlos	8. 9,4
Punta-Arenas	5.57,9	San-Carlos	2.14,4	Punta-Arenas	8.10,7
Ile Diego-Ramirez	5.58,7	Montevideo	2.14,7	Ile de Pâques	8.10,8
Terre de Palmer	6. 0,8	Santiago	2.15,4	Ile Diego-Ramirez	8.11,0
Terre Victoria	6. 8,0	Valparaiso	2.15,5	Terre de Palmer	8.12,0
Monts Termination	6.10 2	Rio-Janeiro	2.15,5	Noukahiva	8.13,4
		Ile Juan-Fernandez	2.15,6	Honolulu	8.13,7
		Ile de Pâques	2.16,4	Taïti	8.14,9
		Pisco	2.18,2	Terre Victoria	8.16,9
		Paris	2.19,2	Monts Termination	8.17,5
		Cayenne	2.19,3	Sidney	8.19,6
		Valentia	2.20,2		
		La Pointe-à-Pitre	2.20,8		
		Cap Raze	2.22,0		
		New-York	2.22,5		
		Montréal	2.22,6		

On voit que la différence des durées des passages s'élèvera à $27^{m},5$ entre New-York et les monts Termination; mais si l'on exclut les terres australes, dont les glaces peuvent rendre l'accès difficile ou impossible, on ne trouve plus que des différences au plus égales à 16 minutes (New-York et les îles Diego Ramirez). Entre les heures d'entrée, les

différences ne dépassent pas $15^m,4$ (Kerguélen et Montréal), et entre les heures de sortie elles n'atteignent même pas ce chiffre ($15^m,1$ entre la Pointe-à-Pitre et Sidney). La comparaison de ces différences avec celles qu'il sera possible d'obtenir en 1874 (*) montre que les observations de contact ne donneront pas la parallaxe solaire avec autant de précision en 1882 qu'en 1874.

On peut remarquer que plusieurs des colonies françaises, la Guadeloupe, la Guyane, l'île de la Réunion, seront, en 1882, au nombre des stations les plus avantageuses. La France elle-même sera assez favorablement située au point de vue de l'observation des heures d'entrée (**).

(*) *Voir* la Note précédente, page 199. Les calculs dont les résultats sont rapportés dans cette Note ont été faits avec la parallaxe provisoire 8″,90 : les différences de durées de passage et celles des heures d'entrée et de sortie qui y sont données pour 1874 doivent donc être diminuées dans le rapport de 890 à 886, pour devenir comparables à celles qui sont données pour 1882 dans la présente Note; mais ce changement, qui revient à les diminuer de la 222e partie de leur valeur, est insignifiant, vu le degré d'approximation dont on s'est contenté.

(**) Afin qu'on puisse juger par un exemple du degré d'approximation des formules employées, nous mettrons en regard les résultats qu'elles donnent pour les circonstances du phénomène à New-York et ceux qu'on obtient par un calcul rigoureux, en supposant toujours la parallaxe solaire moyenne égale à 8″,86 :

New-York, 1882 déc. 6, temps moyen de Paris.	Formules approchées.	Calcul rigoureux.
	h m	h m
Heure du premier contact extérieur......	2.12,4	2.12,39
Heure de l'entrée du centre.........	2.22,5	2.22,56
Heure du premier contact intérieur......	2.32,7	2.33,00
Heure du second contact intérieur......	7.55,1	7.54,69
Heure de la sortie du centre.........	8. 5,2	8. 5,15
Heure du second contact extérieur......	8.15,4	8.15,32

On voit que les heures d'entrée et de sortie du centre de Vénus sont données par les formules approchées à un dixième de minute près.

Nous allons indiquer maintenant quelles sont, aux divers moments du passage, les stations pour lesquelles les valeurs de la distance des centres D_p offriront les plus grandes différences. Nous dirons, après cela, pour quelles stations les angles de position δ_p différeront le plus possible.

Les calculs ont été faits pour chacune des époques 3, 4, 5, 6, 7 et 8 heures. Voici d'abord, pour ces différentes heures les longitudes et les latitudes des points de la Terre qui ont le Soleil à leur zénith :

	3h	4h	5h	6h	7h	8h
	° ′	° ′	° ′	° ′	° ′	° ′
Longitude....	—47.10	—62.10	—77.10	—92.10	—107. 9	—122. 9
Latitude.....	—22.33	—22.33	—22.33	—22.34	— 22.34	— 22.34

A l'aide de ces données, on a pu tracer sur une mappemonde (*voir* la 2e carte jointe à cette Note), pour chacune des heures considérées, le cercle d'illumination C; puis, cherchant, pour les mêmes instants, les longitudes et les latitudes des points A et B, auxquels la distance D_p est maximum ou minimum, on a trouvé :

	3h	4h	5h	6h	7h	8h
	° ′	° ′	° ′	° ′	° ′	° ′
Longitude du point A....	—97.28	—85.40	— 50.45	— 33.24	— 35. 0	— 43.26
Latitude du point A....	+56.59	+65.38	+ 65. 7	+ 51.19	+ 36.25	+ 26.13
Longitude du point B....	+82.32	+94.20	+129.15	+146.36	+145. 0	+136.34
Latitude du point B....	—56.59	—65.38	— 65. 7	— 51.19	— 36.25	— 25.13

Comme la quantité π W varie très-peu pendant la durée du passage et reste sensiblement égale à 24″,5, on a, à chacune des heures considérées,

$$D_p = D + 24'',5 \cos MA.$$

Les points A et B ayant été marqués sur la carte pour 3, 4,..., 8 heures, il a été facile d'assigner à chacun

de ces instants, parmi les stations éclairées par le Soleil, quelles seront celles pour lesquelles les distances des centres D_p différeront le plus. Les valeurs numériques de D_p ont pu d'ailleurs être calculées commodément à l'aide des formules approchées

$$3^h \quad D_p = 844'',08 - (0,2389) \cos A \cos L - (1,1218) \cos A \sin L + (1,3128) \sin A,$$

$$4^h \quad D_p = 709'',05 + (\bar{1},8825) \cos A \cos L - (1,0034) \cos A \sin L + (1,3488) \sin A,$$

$$5^h \quad D_p = 643'',91 + (0,8145) \cos A \cos L - (0,9022) \cos A \sin L + (1,3470) \sin A,$$

$$6^h \quad D_p = 669'',43 + (1,1068) \cos A \cos L - (0,9260) \cos A \sin L + (1,2817) \sin A,$$

$$7^h \quad D_p = 776'',72 + (1,2083) \cos A \cos L - (1,0535) \cos A \sin L + (1,1627) \sin A,$$

$$8^h \quad D_p = 938'',10 + (1,2068) \cos A \cos L - (1,1831) \cos A \sin L + (1,0187) \sin A,$$

où les nombres entre parenthèses sont, comme ci-dessus, les logarithmes des facteurs par lesquels on doit multiplier $\cos A \cos L$, $\cos A \sin L$, $\sin A$; l'unité est la seconde d'arc.

De là on a conclu les nombres contenus dans le tableau suivant, où l'on s'est borné à inscrire, pour chaque heure, les groupes de stations les plus avantageux :

			Différence des distances des centres.
			''
3^h	$\left(\frac{dD}{dt} = -2'',671\right)$	Montréal, Terre Victoria.	43,3
		Montréal, Port-Natal.	40,3
		Montréal, îles Diego-Ramirez.	33,8
4^h	$\left(\frac{dD}{dt} = -1'',750\right)$	Montréal, Terre Victoria.	45,1
		Montréal, Port-Natal.	37,6
		Montréal, le Cap.	37,1
		Montréal, îles Diego-Ramirez.	36,2

sans déformation, avec un système optique de très-court foyer.

L'un de nous a signalé depuis longtemps un second avantage très-précieux du sidérostat : c'est le seul appareil qui permette de déterminer avec précision les angles de position; ce sera donc le seul appareil avec lequel on pourra faire une observation complète de Vénus sur le disque du Soleil. Il suffira pour cela que la direction de l'axe optique de l'appareil fixe puisse être déterminée rigoureusement par rapport au méridien et à l'horizon, et que l'image photographique soit orientée par rapport à une ligne fixe, horizontale par exemple. Nous donnerons plus loin les procédés de réglage qui permettront de satisfaire à ces conditions.

L'irrégularité des mouvements du miroir plan est sans influence aucune sur la détermination de l'angle de position. Les seules conditions auxquelles il doit satisfaire sont de rester plan (ou même, pour parler plus exactement, de conserver un rayon de courbure constant) et, en second lieu, d'être monté assez solidement pour n'éprouver aucune vibration pendant l'opération photographique.

Nous avions à démontrer qu'un miroir optiquement plan peut rester plan lorsqu'il est soumis, même pendant un temps assez long, à l'action directe des rayons solaires. Nous rappellerons d'abord l'expérience déjà ancienne, faite par M. Ad. Martin, sur le miroir du sidérostat de L. Foucault : exposé pendant une heure aux rayons d'un soleil d'été, avant l'argenture, le miroir a conservé sa surface optiquement plane. Nous avons fait la même vérification sur l'appareil photographique complet : par un beau soleil, nous dirigions le miroir vers une mire composée de lignes

pour les mêmes heures que ci-dessus, les longitudes et les latitudes des points E et F auxquels l'angle de position ∂_p est maximum ou minimum, on a trouvé

	3h	4h	5h	6h	7h	8h
	° ′	° ′	° ′	° ′	° ′	° ′
Longitude du point E. . .	−147.13	−155.50	−162.59	−168.31	−172.35	−175.43
Latitude du point E. . .	− 22.46	− 8.44	+ 9.57	+ 29.34	+ 45. 1	+ 55. 1
Longitude du point F. . .	+ 32.47	+ 24.10	+ 17. 1	+ 11.29	+ 7.25	+ 4.17
Latitude du point F. . .	+ 22.46	+ 8.44	− 9.57	− 29.34	− 45. 1	− 55. 1

On a, pour chacune des heures considérées,

$$\partial_p = \partial + \frac{\Pi W}{D \sin 1''} \cos ME,$$

le coefficient de cos ME ayant pour ces diverses heures les valeurs suivantes :

	3h	4h	5h	6h	7h	8h
Valeurs de $\frac{\Pi W}{D \sin 1''}$	5988″	7129″	7850″	7550″	6508″	5388″

Les points E et F ayant été marqués sur la carte pour 3, 4, ..., 8 heures, il a été facile d'assigner à chacun de ces instants, parmi les stations éclairées par le Soleil, quelles seront celles pour lesquelles les angles de position ∂_p différeront le plus. Les valeurs numériques de ∂_p ont pu d'ailleurs être calculées commodément à l'aide des formules approchées

$$3^h \quad \partial_p = -\ 65°13',3 - (1,8885) \cos \Lambda \cos L - (1,6976) \cos \Lambda \sin L - (1,5870) \sin \Lambda,$$

$$4^h \quad \partial_p = -\ 80°32',0 - (2,0299) \cos \Lambda \cos L - (1,6820) \cos \Lambda \sin L - (1,2565) \sin \Lambda,$$

$$5^h \quad \partial_p = -100°47',4 - (2,0907) \cos \Lambda \cos L - (1,5765) \cos \Lambda \sin L + (1,3545) \sin \Lambda,$$

$$6^h \quad \partial_p = -122°18',2 - (2,0304) \cos \Lambda \cos L - (1,3379) \cos \Lambda \sin L + (1,7931) \sin \Lambda,$$

$$7^h \quad \partial_p = -140^\circ\ 0',0 - (1,8809)\cos\Lambda\cos L - (0,9957)\cos\Lambda\sin L + (1,8849)\sin\Lambda,$$

$$8^h \quad \partial_p = -152^\circ 31',3 - (1,7106)\cos\Lambda\cos L - (0,5843)\cos\Lambda\sin L + (1,8667)\sin\Lambda,$$

où les nombres entre parenthèses sont toujours les logarithmes des facteurs par lesquels on doit multiplier $\cos\Lambda$ $\cos L$, $\cos\Lambda \sin L$, $\sin\Lambda$; l'unité est la minute d'arc.

De là on a conclu les nombres contenus dans le tableau suivant, où l'on s'est borné à inscrire, pour chaque heure, les groupes de stations les plus avantageux :

		Différence des angles de position.	Produit de la colonne précédente par $\frac{D}{1000}$.
$3^h\left(\frac{d\partial}{dt} = -12',71\right)$	Noukahiva, la Réunion	163'	137
	Noukahiva, Port-Natal	157	132
	Noukahiva, Kerguélen	115	97
	Ile de Pâques, la Réunion	151	127
	Ile de Pâques, Port-Natal	145	122
	Ile de Pâques, Kerguélen	103	87
	Santiago, la Réunion	109	92
	Santiago, Port-Natal	103	87
	Santiago, Kerguélen	61	51
$4^h\left(\frac{d\partial}{dt} = -18',01\right)$	Taïti, Port-Natal	210'	149
	Taïti, le Cap	203	144
	Noukahiva, Port-Natal	209	148
	Noukahiva, le Cap	202	143
$5^h\left(\frac{d\partial}{dt} = -21',85\right)$	Noukahiva, Saint-Paul de Loanda	246'	159
	Noukahiva, le Cap	235	151
	Taïti, Saint-Paul de Loanda	244	157
	Taïti, le Cap	233	150
$6^h\left(\frac{d\partial}{dt} = -20',21\right)$	Honolulu, le Cap	248'	166
	Honolulu, Sainte-Hélène	239	160
	Noukahiva, le Cap	212	142
	Noukahiva, Sainte-Hélène	203	136

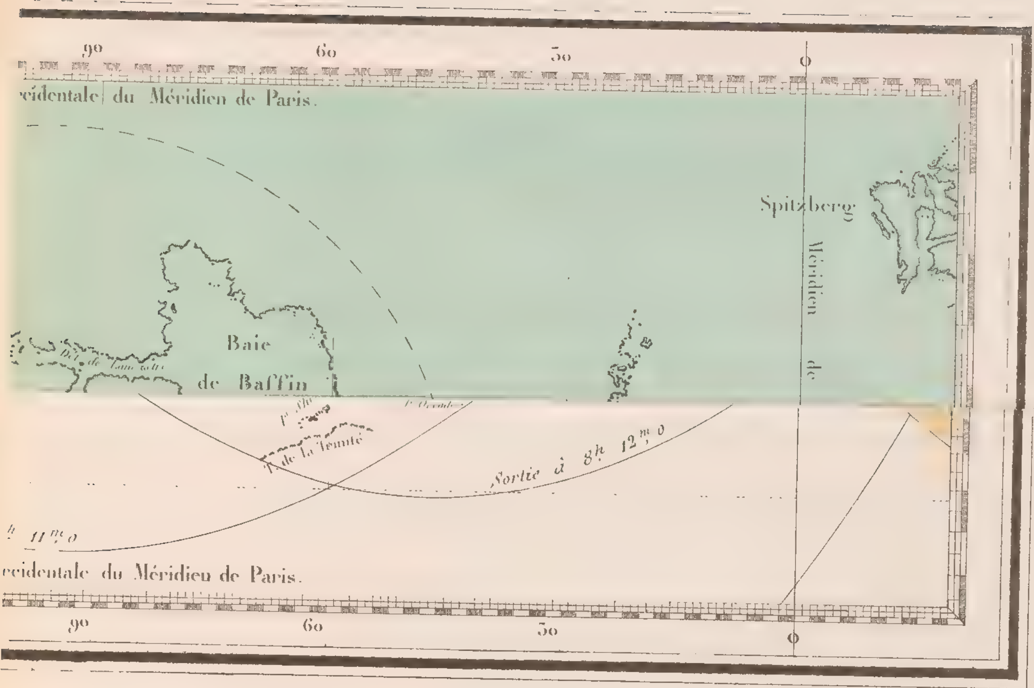
		Différence des angles de position.	Produit de la colonne précédente par $\frac{D}{1000}$.
$7^h \left(\frac{d\partial}{dt} = -15',01\right)$	Honolulu, île Tristan da Cunha. .	201'	156
	Honolulu, Montevideo.	168	130
	Honolulu, Punta-Arenas.	167	130
	I. Vancouver, I. Tristan da Cunha.	195	151
	Ile Vancouver, Montevideo. . . .	162	126
	Ile Vancouver, Punta-Arenas. . . .	161	125
$8^h \left(\frac{d\partial}{dt} = -10',28\right)$	I. Vancouver, I. Tristan da Cunha.	161'	151
	I. Vancouver, îles Diego-Ramirez.	146	137
	Honolulu, île Tristan da Cunha. .	157	147
	Honolulu, îles Diego-Ramirez. . .	142	133

Les valeurs de $\frac{d\partial}{dt}$ sont les variations de l'angle ∂ en 1 minute de temps ; leurs produits par $\frac{D}{100}$ ont, à 3, 4, 5, 6, 7 et 8 heures, les valeurs respectives — 107, — 128, — 141, — 135, — 117 et — 96.

Citons, comme termes de comparaison, quelques nombres relatifs au passage de 1874 :

1874 déc. 8 Temps moyen de Paris.		Différence des angles de position.	Produit de la colonne précédente par $\frac{D}{1000}$.
h m			
14.30	Noukahiva, Bombay.	153'	143
16. 0	Taïti, Aden.	206	171
16.30	Nouméa, Aden.	174	144
18. 0	Nouméa, île Saint-Thomas (Afrique). .	161	150

La comparaison de ces nombres avec ceux du tableau précédent montre que les mesures d'angles de position pourront fournir la parallaxe solaire à peu près avec la même précision dans les deux passages de 1874 et de 1882.



EXPLICATION DES COULEURS

. —— Le Soleil reste sur l'horizon pendant tout le passage

ge —— Le Soleil est sur l'horizon au commencement et à la fin du passage, mais il se couche dans (l'intervalle)

e —— Le Soleil est sur l'horizon à l'entrée ; il est couché à la sortie.

—— Le Soleil est couché à l'entrée ; il est sur l'horizon à la sortie.

—— Le Soleil est sous l'horizon à l'entrée et à la sortie.

		Différence des angles de position.	Produit de la colonne précédente par $\frac{D}{1000}$.
$7^h \left(\frac{d\Im}{dt} = -15',01\right)$	Honolulu, île Tristan da Cunha. .	201′	156
	Honolulu, Montevideo.	168	130
	Honolulu, Punta-Arenas.	167	130
	I. Vancouver, I. Tristan da Cunha.	195	151
	Ile Vancouver, Montevideo. . . .	162	126
	Ile Vancouver, Punta-Arenas. . . .	161	125
$8^h \left(\frac{d\Im}{dt} = -10',28\right)$	I. Vancouver, I. Tristan da Cunha.	161′	151
	I. Vancouver, îles Diego-Ramirez.	146	137
	Honolulu, île Tristan da Cunha. .	157	147
	Honolulu, îles Diego-Ramirez. . .	142	133

Les valeurs de $\frac{d\Im}{dt}$ sont les variations de l'angle $\Im$ en 1 minute de temps; leurs produits par $\frac{D}{100}$ ont, à 3, 4, 5, 6, 7 et 8 heures, les valeurs respectives — 107, — 128, — 141, — 135, — 117 et — 96.

Citons, comme termes de comparaison, quelques nombres relatifs au passage de 1874 :

1874 déc. 8 Temps moyen de Paris.		Différence des angles de position.	Produit de la colonne précédente par $\frac{D}{1000}$.
$14^h.30^m$	Noukahiva, Bombay.	153′	143
16. 0	Taïti, Aden.	206	171
16.30	Nouméa, Aden.	174	144
18. 0	Nouméa, île Saint-Thomas (Afrique). .	161	150

La comparaison de ces nombres avec ceux du tableau précédent montre que les mesures d'angles de position pourront fournir la parallaxe solaire à peu près avec la même précision dans les deux passages de 1874 et de 1882.

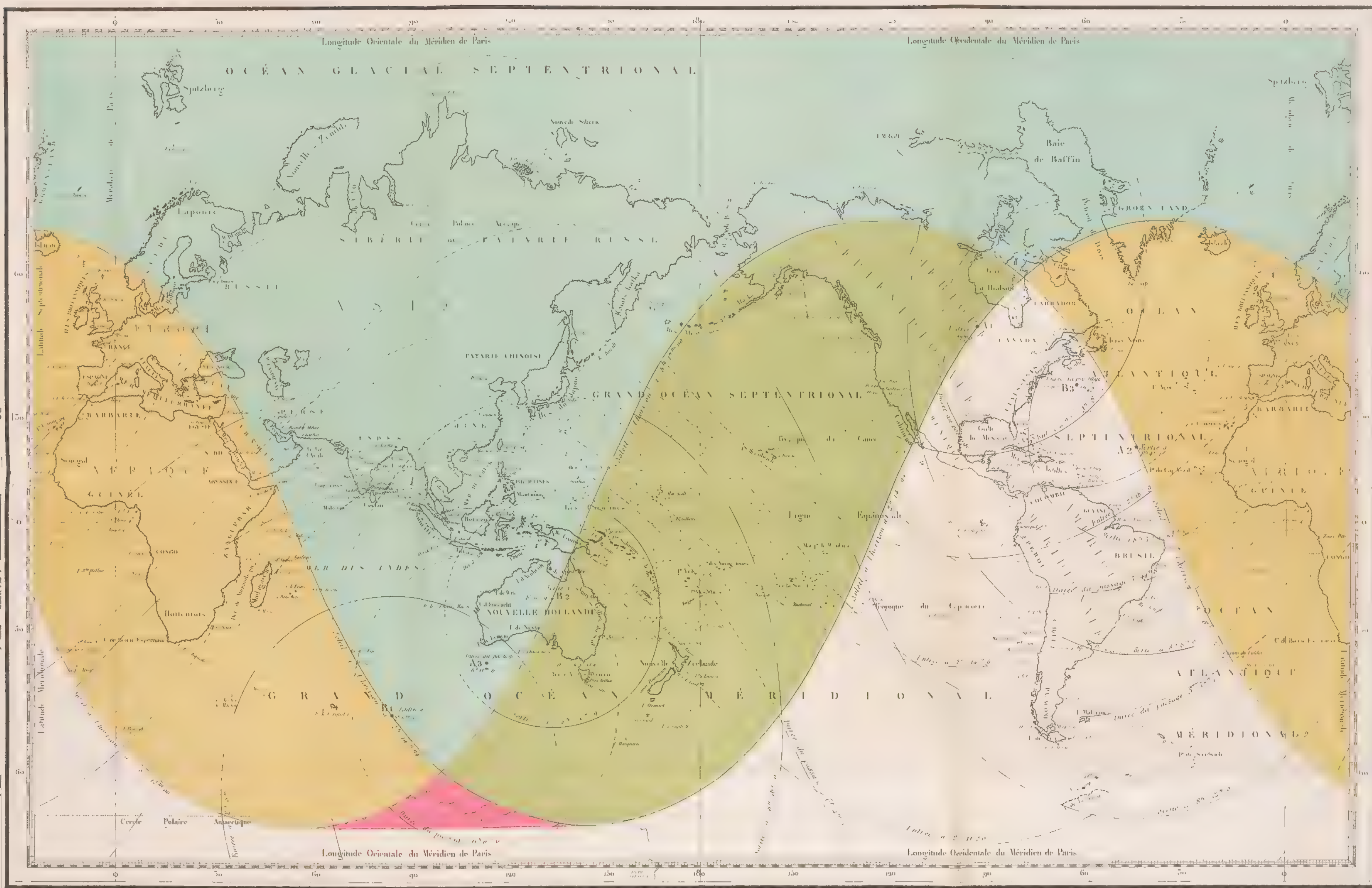
CARTE POUR LE PASSAGE DE VÉNUS SUR LE SOLEIL

du 6 Décembre 1882

Heure d'entrée, heure de sortie et durée du passage

du centre de Vénus sur le disque du Soleil

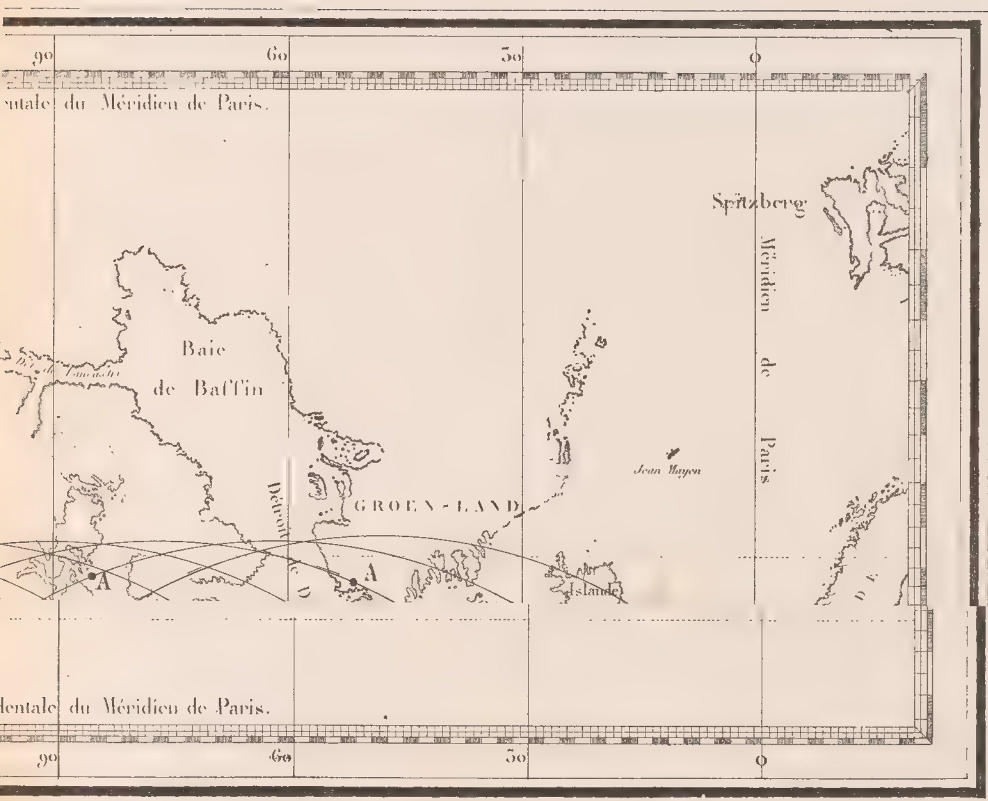
Mémoires de l'Académie des Sciences T.XLI 1re partie



A 1 Point où l'entrée a lieu le plus tard
B 1 point où l'entrée a lieu le plus tôt
A 2 point où la sortie a lieu le plus tôt
B 2 point où la sortie a lieu le plus tard
A 3 point où le passage est le plus long
B 3 point où le passage est le plus court

EXPLICATION DES COULEURS

Blanc — *Le Soleil reste sur l'horizon pendant tout le passage*
Rouge — *Le Soleil est sur l'horizon au commencement et à la fin du passage mais il se couche dans l'intervalle*
Jaune — *Le Soleil est sur l'horizon à l'entrée il est couché à la sortie*
Vert — *Le Soleil est couché à l'entrée il est sur l'horizon à la sortie*
Bleu — *Le Soleil est sous l'horizon à l'entrée et à la sortie*



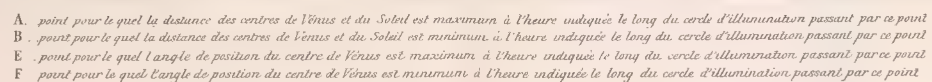
IMP LEMERCIER ET Cie A PARIS.

2eme CARTE POUR LE PASSAGE DE VÉNUS SUR LE SOLEIL

du 6 Décembre 1882

Maxima et minima de la distance des centres de Vénus et du Soleil.

Maxima et minima de l'Angle de position de Vénus.



A. *point pour le quel la distance des centres de Vénus et du Soleil est maximum à l'heure indiquée le long du cercle d'illumination passant par ce point*

B. *point pour le quel la distance des centres de Venus et du Soleil est minimum à l'heure indiquée le long du cercle d'illumination passant par ce point*

E. *point pour le quel l'angle de position du centre de Vénus est maximum à l'heure indiquée le long du cercle d'illumination passant par ce point*

F. *point pour le quel l'angle de position du centre de Vénus est minimum à l'heure indiquée le long du cercle d'illumination passant par ce point*

LE

PASSAGE DE VÉNUS SUR LE SOLEIL

EN 1874

Conférence faite à la société des Amis des Sciences, le 29 mai 1873

PAR

M. C. WOLF

Je dois à une circonstance tout à fait extraordinaire l'honneur de prendre aujourd'hui la parole devant la Société des Amis des Sciences. L'année prochaine, le 9 décembre au matin, se produira un phénomène astronomique qui n'a point été vu depuis 1769, et qui, après s'être montré de nouveau dans huit ans, se fera attendre jusqu'à l'an 2004. Notre illustre président, qui a bien voulu accepter la charge de veiller aux préparatifs que fait l'Académie des sciences pour l'observation du passage de la planète Vénus sur le disque du Soleil, m'a demandé de vous expliquer pourquoi, depuis plus d'un siècle, l'approche de ce

phénomène produit un si grand émoi parmi les astronomes, de vous dire ce qui a été fait jadis pour en tirer parti, ce que nous nous proposons de faire l'an prochain. Je désire que l'intérêt du sujet vous fasse oublier l'insuffisance de son interprète.

Un passage de Vénus sur le disque du Soleil n'est pas un de ces prodiges célestes, qui, comme une éclipse totale de soleil, comme l'apparition d'une grande comète, frappent la vue par la magnificence du spectacle et l'imagination par les secrets qu'ils nous dévoilent sur la constitution des astres. Un point noir, à peine visible à l'œil nu, passant lentement sur le Soleil, voilà ce qu'est le phénomène. Aussi resta-t-il à peu près inaperçu, jusqu'au jour où Halley montra que l'observation de ce passage fournit à l'astronomie l'un des moyens les plus précis de déterminer la distance de la Terre au Soleil. Et vous savez, Messieurs, que le problème de cette détermination est l'un des plus importants que se pose la science de l'Univers.

Au point de vue purement spéculatif, il n'est pas sans intérêt pour nous de savoir quelle place nous tenons dans le monde, quelle est la grandeur relative de notre habitation, son degré de respectabilité; mais l'astronomie a un besoin impérieux de connaître les distances qui nous séparent des astres. Si nous voulions envisager l'ensemble du problème que doit résoudre l'astronomie, nous pourrions bien être effrayés de la complication du chaos apparent que nous avons à débrouiller, et de l'exiguité des moyens dont nous pouvons disposer. Dans la multitude des astres dont nous voulons étudier les mouvements, fixer à l'avance toutes les positions, il n'en est pas un que nous voyions à

sa véritable place. Si, comme les étoiles, les astres sont très-éloignés de nous, le rayon de lumière qui nous arrive et en fixe la position, a mis à parcourir la distance qui nous en sépare, des jours, des années et des siècles, et au moment où nous croyons voir une étoile, elle est déjà loin de l'endroit où elle brille, elle a disparu peut-être. Si l'astre est plus proche de nous, c'est alors notre position sur la Terre, ou la position de la Terre sur son orbite, qui nous le fait voir dans une direction sans cesse affectée d'erreur. Nous ne pouvons corriger cette direction que si nous connaissons la distance de l'astre au centre de la Terre. Mais cette distance, sans cesse variable, dépend de la loi du mouvement de l'astre, et la loi du mouvement ne sera elle-même exactement connue que le jour où nous pourrons réduire nos observations au centre de la Terre. L'astronomie semble donc rouler ici dans un cercle infranchissable, et il le serait pour la géométrie pure. Heureusement ni Copernic, ni Képler n'étaient des géomètres purs ; croyant, en dehors de toute démonstration, à l'harmonie de l'Univers et à la simplicité de son mécanisme, ils posèrent, comme par intuition, les lois du mouvement des astres, en s'appuyant sur des observations assez exactes pour les mettre en évidence, assez peu exactes pour n'en pas manifester les déviations. Dès lors la science était en possession d'une base du système du monde, et son second pas devait consister à éprouver le vrai et le faux de ce système en le comparant à des observations précises.

Tel fut le rôle de l'astronomie au dix-septième et au dix-huitième siècle, et telle fut la voie dans laquelle s'engagea résolûment l'ancienne Académie des sciences dès sa créa-

tion. On peut dire qu'elle a posé les fondements de l'astronomie de précision en déterminant les dimensions de notre Univers. Il faut d'abord mesurer la base de toutes nos opérations, la Terre elle-même : l'Académie des sciences obtient de Louis XIV, de Louis XV et de Louis XVI les fonds nécessaires pour déterminer à plusieurs reprises la méridienne de France; plus tard, après sa dispersion, ce sont ses Membres qui poursuivent ce travail à travers les obstacles de toute nature que leur suscite la Révolution; ce sont ses Membres qu'elle envoie en Laponie, au Pérou, en Afrique, pour mesurer la Terre; elle détermine ensuite la distance de la terre à la Lune; déjà à Cayenne, elle a envoyé Richer pour obtenir par ses observations de Mars comparées à celles de D. Cassini une détermination de la distance de la Terre au Soleil; et tout à l'heure nous allons retrouver encore les astronomes de l'Académie dispersés sur tous les points du globe pour l'observation du passage de Vénus. Alors l'astronomie est en possession, non-seulement des distances de toutes les planètes, des dimensions du système planétaire; mais elle peut s'appuyer sur une base de 72 000 000 de lieues, sur le grand axe de l'orbite terrestre, pour déterminer la distance des étoiles. Vous voyez comment de proche en proche, la science, ayant mesuré la base de Melun ou la base de Juvisy, en conclut les dimensions de la Terre; comment des dimensions de la Terre elle déduit celles des orbites des planètes et les grandeurs absolues des astres de notre système, comment enfin elle atteint aux étoiles. J'ai à vous faire voir quelle place occupe dans ce magnifique ensemble de travaux, l'observation du passage de Vénus.

Lorsqu'un astre, tel que la Lune, une planète, est observé d'un point de la surface de la Terre, la direction dans laquelle nous le voyons diffère de celle dans laquelle le verrait un observateur situé au centre de la Terre. Cette différence, ou l'angle sous lequel un habitant de l'astre verrait le rayon terrestre qui aboutit au lieu d'observation, est appelé la parallaxe de l'astre. Sa grandeur dépend d'abord de la position de l'astre dans le ciel; elle est la plus grande possible quand le rayon terrestre est perpendiculaire au rayon visuel, c'est-à-dire quand l'astre est à l'horizon. On l'appelle alors parallaxe horizontale. Ce qu'il faut remarquer surtout, c'est la liaison de cette parallaxe avec la distance de l'astre; telle que, la parallaxe étant connue, la distance s'en déduit immédiatement. Ce que nous devons donc demander à l'observation du passage de Vénus, c'est l'angle sous lequel un habitant du Soleil verrait le rayon terrestre, c'est la parallaxe du Soleil. De là, et sachant que la longueur du rayon terrestre est de 1 600 lieues, nous conclurons immédiatement la distance du Soleil.

Si le Soleil était un astre pâle et froid comme la Lune, il serait possible de déterminer sa parallaxe comme l'a été celle de la Lune, par des comparaisons simultanées des positions du Soleil et d'une étoile voisine, faites en deux lieux de la Terre très-éloignés, Paris et le cap de Bonne-Espérance par exemple. Mais ici comme dans toute observation du Soleil, intervient la difficulté provenant de l'échauffement que ses rayons apportent à l'air qu'ils traversent, et d'où résultent des déviations anormales de ces rayons; il nous faut une méthode où le Soleil n'intervienne pas directement, ou bien où l'astre qui lui est comparé subisse exactement les

mêmes réfractions. Les observations des planètes Mars et Vénus vont nous donner la réalisation de ces méthodes.

Le génie de Képler nous a fait connaître non-seulement les lois des mouvements de chaque planète autour du Soleil, mais il a établi entre les distances de ces astres au Soleil et les durées de leur révolution une relation qui permet, étant connues la durée de cette révolution et les lois du mouvement, de déterminer à chaque instant les rapports de leurs distances au Soleil. Ainsi la distance de la Terre au Soleil étant 1, la distance de Mars au Soleil est en moyenne 1,52, celle de Vénus 0,72. D'où il suit qu'au moment de l'opposition de Mars, cette planète est à une distance de la Terre égale aux 52 centièmes de la distance de la Terre au Soleil; qu'au moment d'une conjonction, la distance de Vénus à la Terre est les 28 centièmes de la distance unité. Si donc, par le procédé général, nous déterminons la parallaxe de Mars en opposition, nous en conclurons la distance de la Terre au Soleil; de même au moment de la conjonction, les parallaxes de Vénus et du Soleil interviennent de telle façon que nous pourrons les déterminer toutes les deux à la fois.

La détermination de la parallaxe de Mars, qui fut le premier procédé exact par lequel Cassini et Richer déterminèrent la parallaxe solaire, réalise la première condition que j'ai indiquée tout à l'heure : mesurer la distance au Soleil en l'absence de cet astre. L'emploi des passages de Vénus réalise la seconde.

Lorsque Vénus au moment de sa conjonction vient à passer entre le Soleil et la Terre de manière à se projeter sur le disque de l'astre brillant, en vertu de son mouve-

ment plus rapide que celui de la Terre, la planète parcourt ce disque de l'est à l'ouest, en ligne droite et avec une vitesse à très-peu près uniforme (fig. 1). Dans ces conditions, il est bien clair que les réfractions déplacent également Vénus et les points du Soleil sur lesquels elle se projette. Mais l'influence de ces réfractions se fera sentir de nouveau si nous voulons comparer la position de Vénus à un point quelconque du Soleil, le bord par exemple. De là des distinctions importantes entre les diverses méthodes que nous pourrons employer pour fixer les positions relatives des deux astres.

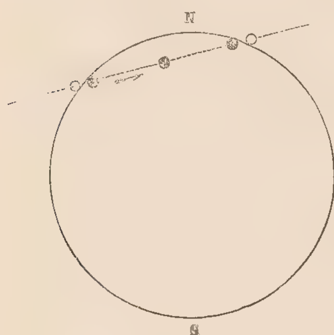


Fig. 1.

Un passage de Vénus sur le Soleil exige qu'au moment de la conjonction, les centres des trois astres soient sensiblement en ligne droite ; ce qui ne peut avoir lieu, en raison de l'inclinaison de l'orbite de Vénus sur le plan de l'orbite terrestre, que si la conjonction se produit lorsque Vénus est en un point de son orbite voisin de l'intersection du plan de celle-ci avec le plan de l'écliptique. Mais alors, par une heureuse combinaison, quand un pareil passage s'est produit, il y a de très-grandes chances pour qu'un second suive à huit ans d'intervalle : car huit révolutions de la terre comprennent presque exactement treize révolutions de Vénus. Ensuite il faut attendre plus de cent années avant que le phénomène se reproduise. Ainsi, au siècle dernier, les deux passages eurent lieu au mois de juin 1761

et 1769; ils auront lieu en décembre 1874 et en 1882; et ne se reproduiront ensuite qu'en 2004 et 2012 au mois de juin. Il semble, fait remarquer Bailly, que par ces deux passages qui se succèdent à huit années d'intervalle, la nature ménage une précieuse ressource à notre inexpérience. Nous avons besoin de nous familiariser avec les phénomènes ; une première observation sert d'essai et de préparation. Les mêmes hommes qui avaient vu le passage de 1761 virent celui de 1769 et, mieux instruits des difficultés, ils surent mieux diriger leur attention et obtenir de meilleurs résultats. Cette consolation pouvait être permise en 1761, le passage suivant devant être bien plus favorable. Faisons des vœux pour que nous n'ayons pas à considérer celui de 1874 comme une simple répétition, car il est plus favorable que celui de 1882 à la détermination de la parallaxe solaire.

Maintenant qu'avons-nous à observer pendant le passage? Un observateur placé au centre de la Terre verrait le centre de Vénus parcourir une corde du disque solaire ; et nous savons que le rayon qui, passant par le centre de la Terre et celui de Vénus, va tracer cette corde sur le Soleil, est coupé par le centre de Vénus en deux parties qui sont entre elles dans le rapport de 28 à 72. Plaçons deux observateurs aux extrémités du diamètre terrestre perpendiculaire à cette ligne des centres. L'un d'eux A (fig. 2) verra la planète parcourir une corde CD différente de la première, l'autre B verra la planète parcourir une troisième corde EF, et la distance GH de ces deux cordes extrêmes sera la représentation, agrandie dans le rapport de 28 à 72 (1 à 2,5), du diamètre terrestre AB. Si cette distance était

peinte sur la surface du Soleil, un observateur terrestre y verrait donc une grandeur absolue égale à cinq fois le rayon de la Terre, et il la verrait à la distance à laquelle est le

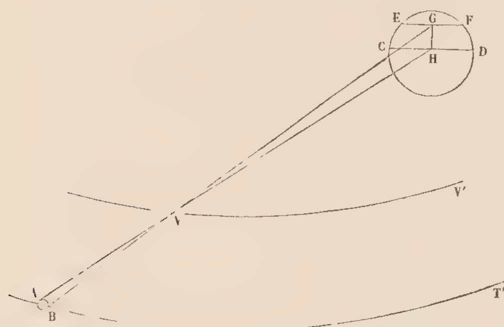


Fig. 2.

Soleil : l'angle sous lequel il la verrait serait donc cinq fois la parallaxe du Soleil.

Pouvons-nous mesurer cet angle, nous aurons la parallaxe cherchée. Or pour cela il faudra, en chaque lieu d'observation, mesurer avec des micromètres convenables la distance de la corde parcourue au centre du Soleil; ou bien nous pourrons, pendant toute la durée du passage, prendre des images photographiques du Soleil, rapporter sur l'une d'elles toutes les positions successives de Vénus que présentent toutes les autres épreuves, y tracer les deux cordes et en mesurer la distance. Voilà déjà deux procédés de mesure, qui seront d'un haut degré d'exactitude puisque nous mesurerons un multiple de la quantité cherchée. Mais vous voyez aussi qu'ils sont tous deux soumis aux influences de la réfraction : car elle peut affecter diffé-

remment le centre de Vénus et le centre ou les bords du Soleil auxquels nous rapportons la position de la planète.

La méthode de Halley est plus simple et plus exacte. Elle élimine absolument la réfraction, et introduit dans le procédé de mesure, en le simplifiant, un degré plus haut encore d'appoximation. La longueur de la corde parcourue en apparence sur le disque solaire par le centre de la planète dépend de la distance de la corde au centre du Soleil. Donc la différence de longueur des deux cordes dépend de la différence de leurs distances au centre ; à la mesure de la distance des cordes, nous pouvons donc substituer la mesure de la différence de leurs longueurs. Mais le mouvement de Vénus sur chacune d'elles est uniforme, les temps employés à les parcourir sont proportionnels à leurs longueurs; si l'une est parcourue en quatre heures, l'autre en quatre heures vingt minutes, cette différence de vingt minutes est la mesure proportionnelle de leur différence de longueur. Vous le voyez, l'observateur n'a plus à s'embarrasser d'appareils micrométriques : une lunette et une horloge, voilà tout le bagage dont il a besoin. Si les deux observateurs placés aux extrémités d'un diamètre terrestre parviennent à déterminer à une seconde près la durée du passage en chaque lieu, la différence des durées sera connue à $\frac{1}{2000}$ près, d'où la parallaxe solaire avec une précision de $\frac{1}{500}$ (1). Telle était la méthode que Halley préconisait en 1716 et les espérances que son application lui faisait

(1) Il n'est point inutile de remarquer que les observations ne peuvent être faites rigoureusement comme nous l'avons supposé, en deux stations A et B qui conservent la même position relative pendant toute la durée du

concevoir. Mais il était déjà âgé de soixante ans et le prochain passage de Vénus n'arrivait qu'en 1761. Il ne pouvait se flatter de faire lui-même cette observation curieuse, ni d'en partager les fruits qui lui appartenaient en quelque sorte. « Si quelqu'un a plus de raison que les autres hommes de s'apercevoir et de se plaindre de la courte durée de la vie, c'est sans doute l'astronome. Ses yeux pénétrant dans l'avenir, découvrent et prévoient des observations curieuses et importantes ; mais le terme de sa vie est une barrière qui s'élève entre ces phénomènes et lui, et qui lui ôtent tout espoir d'en être le témoin (1). »

---

passage ; car la Terre pendant ce temps tourne sur son axe. Mais par une heureuse combinaison, ce mouvement de rotation, qui semble devoir introduire une difficulté, peut devenir la source d'une précision plus grande en augmentant la différence des durées des passages. L'effet parallactique qui, pour les observateurs A et B, se traduit par la différence des cordes parcourues, se traduira pour deux observateurs situés aux extrémités du diamètre terrestre perpendiculaire à AB par une différence dans les temps d'entrée et de sortie de la planète, l'entrée et la sortie étant avancées pour l'observateur situé à l'est, et retardées pour l'observateur placé à l'extrémité ouest du diamètre. D'où il suit que si les deux stations sont tellement choisies que l'une A voie l'entrée au moment du coucher du Soleil et la sortie le lendemain matin un peu après le lever de l'astre, l'autre B voie l'entrée vers le lever du Soleil et la sortie vers son coucher, l'entrée sera avancée pour A, retardée pour B, la sortie retardée pour A, avancée pour B ; la différence des durées des passages sera donc plus considérable que celle qui résulte seulement de la différence des latitudes de A et B. Ainsi, en juin 1769, à Wardhus, en Laponie, l'entrée eut lieu vers 9 heures du soir et la sortie vers 3 heures du matin, le Soleil restant d'ailleurs au-dessus de l'horizon pendant cet intervalle à cause de la latitude élevée de la station : la durée totale fut de 5 heures 54 minutes. A Taïti, Cook observa l'entrée vers 9 heures du matin et la sortie vers 3 heures du soir, la durée totale n'étant que de 5 heures 33 minutes ; différence 22 minutes, dont 12 étaient dues à la différence de latitude des stations, et 10 à cette circonstance que l'entrée avait lieu à Wardhus vers le coucher, à Taïti vers le lever du soleil.

(1) Le comte de Cassini. *Histoire abrégée de la parallaxe solaire.*

Les astronomes du dix-huitième siècle et particulièrement ceux de l'Académie des sciences ne laissèrent pas infécond l'héritage scientifique de Halley. A l'approche de 1761, Delisle indiquait une autre manière de profiter des passages de Vénus, qui devait étendre les limites des lieux favorables à l'observation, et il dressait la carte exacte du phénomène à la surface de la Terre. Dès 1760, les académiciens partaient pour leurs stations. L'Académie impériale de Russie avait demandé un savant français pour venir, sous les auspices de l'impératrice Catherine, observer le passage de Vénus en tel lieu de l'empire que l'on croirait le plus favorablement situé. Chappe d'Auteroche arriva à Tobolsk dès le 10 avril 1761. Cassini de Thury se rendit à Vienne en Autriche et y observa avec le P. Hell. Pingré partit pour l'île Rodriguez et y arriva malgré les croiseurs anglais. Legentil, envoyé à la côte de Coromandel, fut moins heureux. Retenu d'abord à l'île de France par la guerre allumée entre la France et l'Angleterre, il finit par s'embarquer sur une frégate qui faisait voile pour les Indes. Mais arrivé devant Mahé, il trouve les Anglais maîtres de cette place, il apprend que Pondichéry vient également de succomber malgré la défense héroïque de Lally Tollendal; il fallut fuir, et, pendant que la frégate qui le portait retournait à l'île de France, le jour du passage arriva : Legentil put voir Vénus sur le Soleil, mais le beau temps ne faisait qu'ajouter à ses regrets de ne faire qu'une observation inutile.

Les Anglais avaient envoyé Maskelyne à Sainte-Hélène, Mason à Sumatra, mais celui-ci ne put aller au-delà du Cap. Les Suédois firent l'observation en Laponie. En outre, dit Lalande, le passage de Vénus avait été annoncé avec tant

d'emphase, qu'il n'y eut amateur qui ne voulût se mêler de l'observer. Le nombre des observateurs ne manqua donc pas, mais la concordance des résultats. La discussion donna à Pingré la valeur de 10",5, à Short 8",5; parmi les observations, les unes donnaient 30", d'autres 14", d'autres encore zéro.

Le passage de 1761 ne fut donc, comme je l'ai dit, qu'une préparation pour l'observation du mois de juin 1769, qui d'ailleurs devait être plus favorable. Les observations de Laponie, combinées avec celles que l'on pourrait faire dans l'océan Pacifique, devaient donner une différence de durée de vingt-deux minutes, la durée totale étant cinq heures cinquante-quatre minutes en Laponie. Les mêmes astronomes français se répandirent dans les diverses stations. Legentil était retourné à Pondichéry que nous avait rendu le traité de 1763. Pingré avait rejoint à Saint-Domingue Fleurieu qui faisait alors un voyage de circumnavigation pour l'essai des montres marines de Berthoud. Chappe d'Auteroche eût voulu s'établir sur la côte est de l'Amérique méridionale; empêché par la jalousie des Espagnols de se rendre à cette station, il s'embarque sur un brigantin, avec un ingénieur hydrographe, un horloger et deux astronomes espagnols, traverse l'Atlantique, puis le Mexique à dos de mulet, la mer Vermeille sur une barque, et vient fixer son observatoire à San José en Californie. Pendant ce temps le roi de Danemark invitait le P. Hell à s'établir à Wardhus, au nord de la Norwége; et le roi d'Angleterre, Georges III, sur la demande de la Société royale, envoyait à Taïti la frégate l'*Endeavour*, avec Cook, Green et Solander.

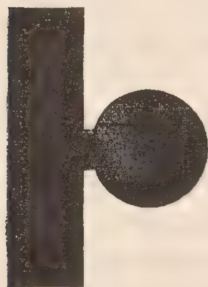
Tant d'efforts et de dévouement ne restèrent pas infructueux. La discussion de tous les résultats donna à Pingré une valeur de la parallaxe égale à 8″,8, très-rapprochée de la vérité comme nous l'allons voir. Cette valeur correspond à une distance du Soleil à la Terre égale à 23 439 rayons terrestres, soit 37 400 000 lieues de 4 kilomètres. Mais ce résultat fut chèrement acheté : en Californie la fièvre jaune enleva Chappe d'Auteroche, l'horloger Dubois et l'un des astronomes espagnols, Don Salvador de Medina; Green, l'un des compagnons de Cook, mourut aux Indes; Véron, qui accompagnait Bougainville dans son voyage de circumnavigation, mourut également à Pondichéry, avec le regret de n'avoir pu observer utilement le phénomène.

D'autre part, des doutes s'élevèrent dès l'origine sur le nombre donné par Pingré. L'observation du P. Hell à Wardhus semblait altérée, elle cadrait peu avec les autres; en la rejetant, Lalande arrivait à une valeur de la parallaxe de 8″,5, augmentant ainsi de $\frac{1}{30}$ de la distance de la Terre au Soleil.

En outre des difficultés provenant de la connaissance imparfaite des longitudes de quelques stations, l'observation elle-même avait présenté des causes d'erreur qu'avait négligées Halley ou même qu'il n'avait pas soupçonnées. Vous avez vu tout à l'heure que Vénus parcourt une corde du Soleil et qu'elle la parcourt en cinq heures à peu près. Sur la figure mise sous vos yeux, cette corde avait une longueur d'un mètre environ : un mètre parcouru en 5 heures ou 18 000 secondes correspond à un millimètre parcouru en 18 secondes. Ainsi, pour arriver à l'approximation espérée

par Halley, il faudrait pouvoir sur cette figure estimer le dix-huitième de millimètre.

Ce n'est pas tout encore. Le contact extérieur ne peut évidemment s'observer avec une grande précision, Vénus ne devenant visible que lorsqu'elle a mordu d'une quantité sensible sur le disque du Soleil. Le contact intérieur semble donc seul exactement appréciable. Mais déjà au passage de 1761, Vénus s'était montrée à plusieurs observateurs comme entourée d'une couronne lumineuse, que, d'un accord presque unanime, on avait attribué à l'existence d'une épaisse atmosphère. Qu'était-ce alors que le moment du contact? Puis dès 1761 et surtout en 1769, à l'instant de ce contact, le disque de la planète avait paru à divers observateurs s'allonger en forme de poire et se réunir au bord du Soleil par un ligament noir qui se rompait ensuite brusquement, comme si un liquide visqueux, une goutte noire avait uni les bords des deux disques (fig. 3). De là entre les nombres des observateurs d'une même station, des divergences s'élevant parfois à 20 et 25^{s}. (Wardhus, Taïti).


Fig. 3.

Néanmoins Laplace et tous les astronomes français de son temps ont admis le nombre 8″, 81, qui concorde avec les valeurs trouvées par d'autres méthodes indirectes. Ce n'est qu'en 1822, que M. Encke, directeur de l'observatoire de Berlin, revenant sur la discussion des résultats du passage de 1769, crut devoir diminuer d'un trentième la valeur de la parallaxe et revenir au nombre de 8″,57, que les as-

tronomes admirent depuis comme définitif. C'était là un changement doublement malheureux; car ne s'accordant pas avec les valeurs trouvées par d'autres méthodes, il introduisait dans la science l'usage d'une donnée fondamentale au moins douteuse, et, de plus, il jetait un vernis fâcheux sur la méthode de Halley, déjà fortement compromise par les divergences que j'ai signalées.

L'astronomie possède en effet d'autres moyens de déterminer la parallaxe du Soleil, soit, comme je l'ai dit, par les observations de Mars en opposition, soit indirectement par les influences que le Soleil, la Terre et la Lune exercent les uns sur les autres, influences qui sont nécessairement fonctions des distances et d'où celles-ci peuvent ressortir, dès qu'on exige qu'il y ait accord entre la théorie et l'observation.

On est aujourd'hui en possession d'un certain nombre de valeurs qui ne s'écartent pas de la valeur moyenne 8″85 de plus de quatre centièmes de seconde.

Vous voyez d'après cela, Messieurs, quel est le problème en présence duquel se trouvent les futurs observateurs du passage de 1874 : il leur faut être sûrs d'obtenir de leurs observations une approximation plus grande, c'est-à-dire au moins deux centièmes de seconde. S'ils n'ont pas cette certitude, il vaut mieux ne pas se déranger. Examinons, s'il vous plaît, les conséquences de cette proposition.

La carte que j'ai mise sous vos yeux représente, d'après M. Puiseux, l'ensemble du phénomène pour les divers points de la surface de la Terre (1). Deux grands cercles,

(1) Voir la carte annexée au Mémoire de M. Puiseux, page 207.

représentés sur la projection de Mercator par deux lignes ondulées, passent, l'un par les points qui ont le Soleil à leur horizon au moment de l'entrée de Vénus, soit que le Soleil se lève, soit qu'il se couche, l'autre par les points qui ont le Soleil à leur horizon à la fin du passage. Ces cercles partagent la sphère en quatre fuseaux, teintés sur la carte de couleurs différentes et qui sont d'étendue et de formes très-différentes.

Pour tous les points situés dans la région bleue de la carte, le Soleil est couché pendant toute la durée du passage; c'est là qu'est comprise l'Europe, les observateurs devront se déplacer beaucoup pour observer le phénomène. Dans la région jaune, le Soleil est levé à l'entrée et couché à la sortie; dans la région verte il est levé à la sortie et couché à l'entrée; enfin, dans la partie restée blanche, il est levé à l'entrée et à la sortie. C'est donc là qu'il faut aller se placer pour observer le passage complet.

De plus, un point marqué A sur la carte indique le lieu pour lequel le passage aura la plus grande durée; le point antipode B verra au contraire le phénomène de plus courte durée; c'est donc autour de ces points qu'il conviendrait de placer, s'il est possible, deux groupes d'observateurs. C'est de ces points qu'il faut au moins se rapprocher le plus possible, en tenant compte de ces deux conditions, qu'il faut être à terre, et dans une localité où les circonstances climatologiques laissent le plus de chance de beau temps.

C'est d'après ces considérations que la Commission de l'Académie des sciences a choisi les quatre stations françaises principales, deux dans l'hémisphère sud, deux dans l'hémisphère nord. La marine s'est réservée les deux stations

de l'Océan Indien, Saint-Paul, où doivent s'établir, sous le commandement de M. le capitaine Mouchez, les officiers de marine auxquels s'adjoindra un de nos collègues, professeur de physique, M. Cazin; et l'île Campbel complétement déserte, où s'établira la station des ingénieurs hydrographes sous la direction de M. Bouquet de la Grye. Dans le nord, à Pékin, se rend l'éminent missionnaire de l'Académie, M. Janssen, qui veut continuer à prendre l'Asie pour théâtre de ses exploits astronomiques; enfin au Japon iront les astronomes de l'Observatoire de Paris.

Des stations secondaires, confiées à la marine, seront établies aux îles Marquises, à Nouméa et à Bourbon.

Les astronomes anglais, en outre de leurs observatoires de Sydney et de Melbourne, occuperont les stations de Ouahou (Sandwich), Kerguélen, Rodriguez, Auckland (Nouvelle-Zélande) et Alexandrie. Un astronome anglais, lord Lindsay, qui consacre sa jeunesse et son immense fortune à l'étude de l'astronomie et se prépare dans l'étude de la plus sérieuse des sciences à siéger un jour à la Chambre haute, organise à ses frais une expédition complète qui s'établira à l'île Maurice.

Les Russes se sont réservé les stations de la Sibérie, dont eux seuls peuvent supporter la rigoureuse température. Enfin l'Allemagne enverra ses astronomes au Japon, aux îles Kerguélen, Maurice et Auckland.

Les déceptions qui ont affligé les observateurs du siècle dernier attendent-elles encore aujourd'hui nos missionnaires? Verrons-nous reparaître les divergences qui ont signalé les observations du passage de Vénus et aussi tous les passages de Mercure? Fort heureusement, le dernier

passage de Mercure sur le Soleil, le 5 novembre 1868, a attiré l'attention des astronomes sur le phénomène des contacts ; et, grâce aux expériences auxquelles il a donné lieu, nous sommes aujourd'hui en droit d'espérer un accord satisfaisant et des contacts entièrement dépouillés des apparences bizarres des couronnes lumineuses, de cornes brillantes et de gouttes noires. Dans cette même salle, il y a un an, j'ai exposé les considérations et les expériences par lesquelles nous avons été conduits, M. André et moi, à rejeter complétement la théorie de Lalande, qui faisait de la goutte noire un phénomène nécessaire, et à en attribuer la formation aux défauts de l'objectif et à la mise au point erronée qui en résulte (1). Une expérience très-simple va nous reproduire ces phénomènes et nous donner par conséquent le moyen de les éviter. Nous nous servons, pour projeter sur le tableau l'image du bord du Soleil et du disque de Vénus, d'un système de lentilles, à peu près achromatique, mais fortement affecté d'aberration (2). Nous pouvons alors obtenir une image de la planète entourée d'une atmosphère brillante, et quand elle se rapproche du bord du Soleil, nous voyons se produire les bizarres et très-variables apparitions de la goutte noire (fig. 4). Un système objectif parfait donne le contact avec une pureté géométrique (3) (fig. 5). Nous emploierons

(1) Voir la *Revue scientifique de la France et de l'etranger*, 2e série, 1re année, no 43, p. 1006.

(2) La reproduction *par projection* de tous les phénomènes de la goutte noire est la démonstration la plus directe de ce fait que l'œil de l'observateur n'intervient en rien dans la formation de ces apparences singulières.

(3) Au point de contact, les anneaux et les franges de diffraction qui bor-

donc pour l'observation des contacts, des objectifs parfaits, de grande ouverture, retouchés, s'il est nécessaire, suivant

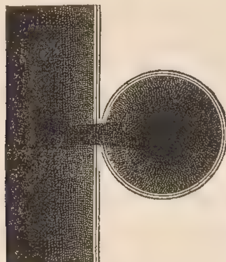


Fig. 4.

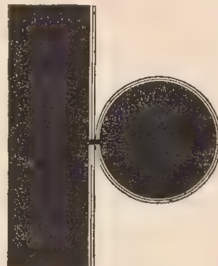


Fig. 5.

les méthodes de L. Foucault. La Commission de l'Académie fait construire huit équatoriaux munis, les uns d'objectifs de huit pouces, les autres d'objectifs de six pouces; et ces objectifs seront employés avec toute leur ouverture, grâce au système d'argenture de L. Foucault. Nous avons montré, M. André et moi, qu'avec des objectifs de 20 centimètres d'ouverture, on peut répondre du contact de deux disques à une fraction insensible de seconde d'arc; si les circonstances atmosphériques ne sont pas trop défavorables, les contacts intérieurs de Vénus avec le Soleil s'observeront à une ou deux secondes de temps près, et donneront la valeur de la parallaxe à deux centièmes de seconde près. Les lunettes et les observateurs seront d'ailleurs comparés entre eux avant le départ, afin d'éliminer, par une

---

dent à l'intérieur les contours de la planète et le fond du ciel disparaissent, et de là résulte l'apparence d'un ligament extrêmement mince, beaucoup grossi sur la figure.

éducation convenable, toute cause personnelle de divergence entre les résultats.

Quant aux contacts extérieurs, le mode ordinaire d'observation ne peut les donner qu'avec une erreur considérable. Divers astronomes ont proposé, et plusieurs observateurs ont l'intention d'employer le procédé spectroscopique à l'aide duquel on peut apercevoir en tout temps la chromosphère qui enveloppe le corps brillant du Soleil. L'entrée de Vénus sur la chromosphère, le point précis où le contact va avoir lieu, pourront ainsi être indiqués à l'observateur à la lunette, et même le temps du contact extérieur déterminé directement. Mais l'expérience et la théorie sont d'accord pour montrer que les temps obtenus à l'aide du spectroscope ne pourront être comparés qu'entre eux et nullement avec ceux que donnera l'observation directe (1).

Au siècle dernier, les observateurs du passage de Vénus n'oublièrent pas de joindre aux déterminations des contacts, des déterminations de distance de la planète au centre du Soleil, pour en déduire la distance à ce centre de la corde parcourue. Pingré, à l'île de Rodriguez, ayant manqué l'entrée à cause des nuages, s'en dédommagea en déterminant plus de soixante distances des bords de Vénus et du Soleil. Cette méthode a été renouvelée et très-préconisée dans ces derniers temps, surtout en Allemagne, et présentée même comme bien supérieure à l'observation

(1) Les expériences faites par M. Rayet à l'Observatoire de Paris lors de l'éclipse de Soleil du 26 mai, celles du P. Secchi et de M. Respighi, à Rome, montrent en effet un désaccord complet entre les temps du contact observé directement ou par la méthode spectroscopique.

des contacts. Les Allemands et les Anglais la réaliseront à l'aide des héliomètres. En France, par un singulier hasard, nous ne possédons pas d'héliomètre, quoique cet instrument soit d'origine française. La Commission de l'Académie n'a pas cru devoir augmenter d'ailleurs d'un nouvel instrument le bagage astronomique, déjà très-considérable, de chacune des stations. Les micromètres à fil peuvent bien être employés aux environs des contacts, mais difficilement au moment de la plus grande phase. C'est donc à la photographie que nous aurons particulièrement recours pour obtenir les distances du centre de Vénus au centre du Soleil.

La photographie a depuis longtemps conquis son droit de cité dans l'astronomie, mais surtout comme auxiliaire de l'astronomie physique; c'est presque pour la première fois que nous aurons à lui demander des déterminations micrométriques, et elles doivent être d'une précision extraordinaire. Remarquez en effet qu'en revenant à la mesure directe de la distance des cordes, nous enlevons à la méthode de Halley ce qui en fait l'originalité et l'avantage. Tandis qu'entre le Japon et l'île Saint-Paul, l'effet parallactique se traduira par une différence de durée des passages de 20^{m}, ou $1\,200^{s}$, de sorte qu'une erreur d'une seconde correspond à un $1\,200^{me}$ de la quantité à mesurer; la distance des cordes sur une photographie où le disque du Soleil aurait 10^{cm} ne serait que le 60e de ce diamètre, soit $1^{mm},67$; or c'est cette quantité qu'il faut mesurer avec une approximation d'un 300e de sa valeur, c'est-à-dire à un demi-centième de millimètre près, si nous voulons obtenir la parallaxe solaire à un centième de seconde près. Joignez à cette

condition de la précision à obtenir, qui domine tout, les difficultés provenant de l'achromatisme des objectifs, des distorsions et déformations possibles des images, et vous comprendrez comment il se fait que nous ne soyons pas encore complétement fixés sur la construction des appareils photographiques. Mais ne craignez pas que nous n'arrivions pas à temps. J'ai l'honneur de mettre sous vos yeux des photographies de l'éclipse de lundi dernier (1), obtenues à l'aide d'un appareil qui donne des images solaires de 6 centimètres de diamètre parfaitement nettes et sans déformation; c'est cet appareil dont je compte faire usage au Japon, si d'ici au moment du départ il ne m'est rien offert de mieux.

Ajoutez maintenant à ces instruments les pendules, les chronomètres, les enregistreurs, un théodolite, le cercle méridien nécessaire pour la détermination de la longitude et de la latitude du lieu d'observation; vous voyez que chaque station sera un observatoire très-complet. J'aurais pu faire apporter et monter sous vos yeux les appareils, déjà presque terminés, qui doivent composer cet observatoire; je ne l'ai pas fait, et vous comprendrez pourquoi je vous ai refusé cette satisfaction, il en serait résulté un retard d'au moins huit jours dans la construction.

Mais parmi tous ces instrucments, rappelons-nous-le bien, l'instrument capital, celui auquel il faut apporter tous les soins, c'est la lunette qui doit servir à observer les contacts.

(1) Ces photographies avaient été prises sur collodion afin de pouvoir servir aux projections. Les épreuves seront faites pendant le passage de Vénus, par le procédé de Daguerre, sur plaqué d'argent ou mieux encore sur verre argenté, comme il a été proposé par M. Ad. Martin.

Aujourd'hui, comme au dix-huitième siècle, la méthode de Halley ou de Delisle peut seule donner un résultat comparable en précision à ceux que donnent les méthodes indirectes de la parallaxe solaire. Elle seule en effet est à l'abri de toutes les influences de la réfraction, si funestes partout en astronomie, si intenses quand il s'agit du Soleil. La photographie, l'héliométrie nous seront sans doute de précieux auxiliaires. Comme Pingré à l'île Rodriguez, l'observateur qui aura manqué un contact, s'en dédommagera, s'en consolera en faisant des photographies et des mesures héliométriques pendant toute la durée du passage. Mais la valeur des résultats que donneront ces moyens auxiliaires sera, il faut bien le dire, en raison de leur concordance avec ceux qui se déduiront des contacts. Aussi ne devez-vous pas vous étonner des soins minutieux que nous apportons à la construction des objectifs; nos plus éminents chimistes, M. Dumas, M. Péligot ne dédaignent pas d'aller surveiller eux-mêmes la fabrication des disques de flint et de crown. Aussi comprendrez-vous que M. Janssen ait voulu, par un procédé spécial, arriver à une détermination photographique directe et toujours vérifiable du moment des contacts.

Si nous comparons maintenant les préparatifs des diverses nations, nous verrons les Anglais s'attacher comme nous à l'observation des contacts, mais sans se préoccuper d'éliminer, par un choix particulier des instruments, l'influence des ligaments noirs; les Allemands rejettent presque complétement l'observation des contacts et mettent le plus grand espoir dans l'emploi de l'héliomètre. Les Russes paraissent vouloir suivre la même voie que les Anglais. En-

fin en Amérique, c'est la photographie qui tient le haut du pavé.

Quelle place occuperons-nous dans cette lutte scientifique? L'histoire des expéditions précédentes vous a montré combien sont grandes les chances d'accident. Mais je puis dire que de toutes les nations, nous serons les mieux outillés, si toutefois la Commission de l'Académie peut se mouvoir dans un budget un peu plus large que celui qui lui a été primitivement accordé. Le zèle de nos constructeurs est à la hauteur de leur habileté; les observateurs savent quelle responsabilité pèse sur eux et feront tout pour rapporter de leurs expéditions de bons et fructueux résultats. Ne seront-ils pas soutenus aussi dans leurs lointains et périlleux voyages, par la pensée que votre Société est là, Messieurs, pour venir en aide à ceux qu'ils laisseraient derrière eux, s'il leur arrivait malheur. Et quand nous serons en possession d'une bonne détermination de la parallaxe solaire, les astronomes n'oublieront pas et vous n'oublierez pas, Messieurs, que, si la France s'est trouvée prête malgré les malheurs des temps, elle l'aura dû aux efforts de l'illustre savant que nous avons aujourd'hui le bonheur de saluer comme président de la Société des Amis des sciences.

EXAMEN MICROMÉTRIQUE

D'UNE ÉPREUVE DAGUERRIENNE

OBTENUE AU FOYER D'UN OBJECTIF ASTRONOMIQUE

ACHROMATISÉ CHIMIQUEMENT PAR L'ÉCARTEMENT DES VERRES

PAR

M. A. CORNU

(Note lue à la Commission du passage de Vénus, le 21 juin 1873.)

Après avoir étudié les meilleures conditions d'achromatisme chimique d'un objectif astronomique par la méthode de l'écartement des verres, je me suis proposé de rechercher si cet écartement, qui peut dépasser un pour cent de la distance focale optique ne produit pas de déformations de l'image focale.

Ces observations étant faites en vue de l'obtention d'épreuves daguerriennes du Soleil (sur la demande de la Commission du passage de Vénus), l'étude devait se borner à une portion du champ de la lunette égale ou un peu

supérieure au diamètre solaire : j'ai adopté comme limite largement suffisante un cône angulaire ayant environ 45′ au sommet, le diamètre solaire étant au maximum de 32′.

L'idée qui s'offrait naturellement pour contrôler la perfection des images, consistait à prendre des épreuves du Soleil, les unes au milieu du champ, les autres légèrement excentriques et à constater sur ces épreuves l'égalité ou l'inégalité de tous les diamètres par des mesures micrométriques directes.

Ce mode de procéder est sujet à bien des erreurs; d'abord il faut supposer que l'aplatissement solaire est négligeable, ce qui est loin d'être prouvé, vu les difficultés de mesure du Soleil par les méthodes usitées d'ordinaire en astronomie : ensuite, il faudrait introduire la correction due à la réfraction inégale des deux bords horizontaux du Soleil, sans parler des déformations accidentelles que les couches inégalement chaudes de l'atmosphère apportent inévitablement dans les images. Enfin, il faudrait ajouter une correction assez incertaine due au déplacement du Soleil dans le sens du mouvement diurne pendant le temps nécessaire à la formation de l'image, lors de la chute de l'obturateur : en effet l'image étant produite par le déplacement d'une fente mobile près du plan focal, l'impression photographique des différents points du disque ne se fait pas simultanément : il en résulte une petite déformation (1)

(1) C'est cette considération qui m'a conduit dans une précédente communication à indiquer comme indispensable, dans les appareils photographiques destinés à l'observation du passage de Vénus, la condition de déplacer la fente de l'obturateur parallèlement à la ligne des centres, c'est-à-dire parallèlement à la direction qu'on devra mesurer sur les épreuves.

proportionnelle au rapport des vitesses du déplacement de l'obturateur et de l'image solaire par suite du mouvement diurne. Pour éviter toutes ces complications, j'ai pensé qu'il valait mieux photographier un objet immobile; j'ai choisi une échelle divisée soustendant un angle supérieur au diamètre solaire afin de déterminer la loi même de déformation dans le cas où ces déformations auraient été sensibles.

L'échelle divisée a été obtenue de la manière suivante : une lame de verre de 60 centimètres de longueur sur 8 de largeur a été légèrement enfumée sur une lampe à huile; avec le tracelet d'une machine à diviser, on a enlevé le noir de fumée de façon à produire 566 divisions à 1 millimètre d'intervalle et numérotées de 10 en 10. La couche de noir de fumée a été protégée d'abord par une couche de collodion riciné, puis par une couche de vernis.

Cette échelle a été placée sur l'appui d'une fenêtre exposée au midi au bout d'un long corridor du pavillon de l'École polytechnique. La lunette photographique, construite par MM. Brunner, se composait d'un objectif achromatique de 100 millimètres d'ouverture et de $1^{m}42$ de foyer et d'un petit porte-plaque, monté à la place de l'oculaire astronomique; la distance des deux verres avait été fixée à 15 millimètres, l'objectif était situé à 40 mètres de l'échelle. A cette distance, les divisions millimétriques soustendaient chacune un angle de $4'',79$, les divisions extrêmes, un angle de $45'$.

A l'aide de quatre ou cinq épreuves photographiques faites au collodion humide, le foyer chimique a été déterminé exactement : la tolérance n'excède guère 2 à

3 dixièmes de millimètre : les épreuves définitives ont été obtenues sur plaques daguerriennes iodées puis brômées.

Les difficultés, que j'ai rencontrées pour obtenir des épreuves bien nettes, ont été les suivantes :

1° Les ondulations de l'air échauffé, lorsque j'ai essayé d'opérer à l'air libre : c'est ce qui m'a conduit à opérer dans un corridor sombre et clos de presque toutes parts.

2° Les trépidations du bâtiment, qui ont produit un peu de trouble dans les épreuves : en effet, le seul corridor, ayant une fenêtre au midi dont je pusse disposer commodément, était au cinquième étage.

3° L'impossibilité d'obtenir des épreuves instantanées qui nécessitent l'emploi de la lumière solaire directe par transparence : la longueur du temps de pose est défavorable à la netteté, en ce sens qu'il exagère l'influence des petits déplacements de l'image par les réfractions irrégulières et par les trépidations. Quant à l'emploi de la lumière solaire directe, il eût nécessité un héliostat portant un miroir de 60 centimètres de largeur, et de plus une lentille de concentration de même ouverture et de 40 mètres de foyer, pour que tous les points de l'échelle pussent recevoir la lumière. Il ne m'a pas été possible de réunir ces conditions : aussi me suis-je contenté d'éclairer l'échelle à l'aide d'un verre blanchi au blanc de zinc, recevant les rayons directs du Soleil et les rayons réfléchis par une bande de glace dans le sens de l'axe de la lunette.

Grâce à ces précautions, j'ai pu obtenir en 30 secondes des épreuves assez belles : je les ai successivement examinées au microscope avec un grossissement de vingt-cinq fois et j'ai mis de côté les plus nettes.

Le relevé micrométrique de l'une de ces épreuves a été exécuté au Conservatoire des arts et métiers, où M. le général Morin et M. Tresca ont bien voulu mettre à ma disposition la machine à diviser de Gambey; je dois aussi remercier M. Gustave Tresca de l'obligeance avec laquelle il a fait adapter tous les dispositifs nécessaires à l'exécution de ces mesures.

Voici comment j'ai opéré : On examina au microscope, installé sur la machine à diviser, les vingt-cinq épreuves qui paraissaient mériter attention sous un grossissement de deux cent trente fois (1) avec un éclairage normal intérieur; la plus nette de toutes sur la longueur entière de l'échelle fut disposée sur le chariot de la machine à diviser de manière à ce que la première division tombât sous le fil du micromètre. On faisait alors cinq pointés, puis on tournait la vis de la machine d'un tour entier. Le nombre de divisions qui passaient sous le fil était de vingt-neuf moins une fraction; avec le micromètre on mesurait la différence; c'était un micromètre à fil dont le tambour était divisé en cent parties : un tour du tambour équivalait à $\frac{1}{50}$ de millimètre environ. On répétait ainsi la même opération jusqu'au bout de l'épreuve, c'est-à-dire dix-neuf fois.

Grâce à cette manière de procéder, on se met à l'abri

(1) Ce grossissement est peut-être un peu exagéré : mais l'objectif du microscope étant le seul qui portât un prisme à 45° permettant l'éclairage normal intérieur, je ne pouvais pas en disposer un autre présentant une disposition aussi avantageuse.

des erreurs périodiques de la vis de la machine à diviser puisqu'on n'utilise que des tours entiers de la vis : on n'a plus à craindre que les inégalités des pas successifs qui sont presque insignifiantes dans les vis bien travaillées : la machine que j'avais à ma disposition ayant été construite et rectifiée par Gambey, pour son propre usage, je n'avais aucune inquiétude à l'égard de cette erreur : néanmoins il était bon de se ménager quelques vérifications indirectes : on verra par les résultats obtenus qu'à moins de compensations bien improbables les erreurs sont inférieures à un demi pour mille.

Quant aux erreurs de la vis du micromètre, spécialement aux erreurs périodiques, je les ai étudiées et mesurées vers le milieu de la vis ; mais elles sont inférieures à la limite d'exactitude nécessaire pour la validité des conclusions que j'avais en vue.

Le mode de mesure adopté a encore un autre avantage, celui de réduire à des mesures différentielles la mesure de longueurs d'une certaine étendue, et par suite à accroître notablement la précision. Ainsi chaque déplacement du micromètre ne correspondait qu'à un demi-tour du tambour, c'est-à-dire à 1 centième de millimètre, en sorte que la somme totale des déplacements du micromètre n'a correspondu qu'à 2 dixièmes de millimètre environ ; l'épreuve avait 20 millimètres.

En résumé, l'épreuve daguerrienne de l'échelle divisée a été étudiée de vingt-neuf en vingt-neuf divisions (elle en comprend cinq cent soixante-six). Soit x la valeur en millimètre d'une division et y la partie complémentaire nécessaire pour former la longueur d'un pas de la vis de la

machine à diviser (1 millimètre); si les divisions sont égales. on doit avoir :

$$29\,x - y = 1$$

Soit u la longueur exprimée en millimètres qui correspond à un tour du tambour du microscope, les lectures successives $z_0\, z_1 \ldots z_n$ des divisions du tambour devront être telles que

$$u\,(z_1 - z_0) = u\,(z_2 - z_1) = \ldots\ldots = y$$

c'est-à-dire former les termes d'une progression arithmétique, si les divisions de l'épreuve sont réellement équidistantes.

Voici le tableau des observations : chaque nombre est la moyenne des lectures de cinq pointés :

N° d'ordre des DIVISIONS.	LECTURE du MICROSCOPE.	CALCUL.	DIFFÉRENCE.	N° d'ordre des DIVISIONS.	LECTURE du MICROSCOPE.	CALCUL.	DIFFÉRENCE.
	t.	t.			t.	t.	
28	10,00	9,99	−0,01	255	6,00	6,04	−0,04
57	10,55	10,58	−0,03	284	6,64	6,63	−0,01
86	11,17	11,17	0,00	313	7,22	7,22	0,00
115	11,72	11,75	−0,03	342	7,77	7,80	−0,03
144	12,35	12,34	+0,01	371	8,35	8,38	−0,03
173	12,98	12,93	+0,05	400	9,00	8,97	+0,03
202	13,60	13,52	+0,08	429	9,63	9,55	+0,08
231	14,09	14,11	−0,02	458	10,11	10,14	−0,03
260	14,64	14,71	−0,07	487	10,79	19,73	+0,06
				516	11,33	11,31	+0,02
				545	11,81	11,90	−0,09
Valeur de la raison de la progression t. 0,5883			Ecart moyen avec la moyenne 0,03	Valeur de la raison de la progression t. 0,5862			Ecart moyen avec la moyenne 0,04

Ce tableau contient la première série de mesures :

l'échelle a été étudiée en deux fois : quoique les parties puissent se raccorder, je n'ai considéré cette série que comme un essai et j'en ai refait une autre de manière à mesurer toute l'épreuve en une fois sans être obligé de changer l'origine des lectures du microscope.

N° d'ordre des DIVISIONS.	LECTURE du MICROSCOPE.	CALCUL.	DIFFÉRENCE.	N° d'ordre des DIVISIONS.	LECTURE du MICROSCOPE.	CALCUL.	DIFFÉRENCE.
	t.	t.			t.	t.	
0	5,14	5,15	−0,01	319	11,60	11,54	+0,06
29	5,74	5,73	+0,01	348	12,06	12,12	−0,06
58	6,25	6,31	+0,06	377	12,67	12,70	−0,03
87	6,77	6,89	−0,12	406	13,30	13,28	+0,02
116	7,43	7,47	−0,04	435	13,90	13,86	+0,04
145	8,09	8,05	+0,04	464	14,46	14,44	+0,02
174	8,73	8,63	+0,10	493	14,98	15,02	−0,04
203	9,30	9,22	+0,08	522	15,53	15,60	−0,07
232	9,86	9,80	+0,06				
261	10,35	10,38	−0,03				
290	10,97	10,96	−0,01	Valeur de la raison de la progression t. 0,5808			Ecart moyen avec la moyenne 0,05

Cette seconde série de mesure montre bien que, d'un bout à l'autre de l'échelle, la régularité est aussi parfaite qu'on est en droit de l'attendre : en effet, en regard des valeurs observées se trouvent les valeurs calculées d'après la méthode de moindres carrés, c'est-à-dire la série des termes de la progression arithmétique qui s'accorde le mieux avec les observations : les écarts extrêmes sont $-0^t,12$ et $+0^t,10$: réduits en fraction de millimètre, ils correspondent à $\frac{1}{500}$ de millimètre : l'écart moyen est 0,05 c'est-à-dire $\frac{1}{1000}$ de millimètre. Il est remarquable que les

pointés soient aussi précis, car sous le grossissement de deux cent trente fois employé, les traits sont un peu estompés. On peut donc affirmer, d'après ces mesures, qu'il n'y a aucune déformation appréciable dans l'image daguerrienne, obtenue au foyer d'une lunette achromatisée pour les rayons chimiques par l'écartement des verres. L'image de divisions équidistantes est formée par des traits équidistants. S'il y avait une déformation appréciable, elle se trahirait par des différences systématiques entre les nombres observés et les nombres calculés. Ici, il n'y a rien de pareil, les différences sont par groupes inégaux alternativement positives et négatives (1).

Je terminerai en donnant la valeur absolue des divisions mesurées et les erreurs relatives du résultat.

On a d'abord la relation

$$29x - y = 1^{m}$$

(1) Toutefois il y a peut-être une apparence de périodicité dans ces différences : quoique la valeur absolue des écarts soit au-dessous de la limite de précision qu'il importe de conserver je m'en suis préoccupé.

J'ai pensé que cette périodicité venait très-probablement des petites erreurs périodiques de la vis micrométrique car en prenant la moyenne des lectures qui donnent des différences positives ou négatives, ou mieux en traçant la courbe des écarts, on trouve que les écarts extrêmes correspondent à peu-près aux mêmes divisions du tambour. J'ai donc tenu à vérifier que la vis du micromètre produisait des erreurs périodiques et j'ai voulu en mesurer l'amplitude vers le milieu de la vis.

A cet effet j'ai effectué la série suivante qui a consisté à mesurer la même longueur convenablement choisie en prenant des origines variables : j'ai adopté deux traits tracés sur plaqué d'argent et distants de $\frac{1}{100}$ de millimètre, c'est-à-dire un demi-pas apparent. Il est facile de voir que, dans ces conditions, les différences extrêmes des valeurs conclues donnent qua-

adoptant pour y le nombre de la deuxième série $0^t,581 = 0,581\,xu$

$$29\,x - (0^t,581)\,u\,1^{mm}$$

D'autre part, j'ai mesuré la longueur de dix divisions

tre fois *l'erreur* périodique cherchée a, erreur définie par une formule telle que

$$x = \frac{n}{N}h + a \sin 2\pi\left(\frac{n}{N} + \varphi\right)$$

x longueur à mesurer,
N nombre de divisions du tambour,
h longueur apparente du pas de vis,
n lecture du tambour,
a, φ constantes,

d'où l'on conclut par approximation :

$$n - n_0 = \frac{Nl}{h} - 2a\frac{N}{h}\sin \Pi \frac{l}{n} \cos 2n\left(\frac{n + n_0}{2N} + \varphi\right)$$

VOICI LA SÉRIE DE VALEURS OBTENUES.

Lecture initiale.	*Longueur absolue.*
t.	t.
8,082	0,498
8,176	0,483
8,265	0,481
8,363	0,464
8,533	0,464
8,657	9,472
8,777	0,489
8,894	0,484
8,992	0,492
9,051	0,499

Ainsi la longueur conclue varie lorsque l'origine de la lecture change d'une manière régulière, de 0',499 à 0',464 : la différence est donc de 0',035 en complétant le calcul de la sinussoïde. La différence atteint 0,04 : donc la vis micrométrique est soumise à des erreurs périodiques dont l'amplitude est ± 0,01. Ces erreurs sont trop petites pour mériter une correction spéciale, mais elles suffisent pour expliquer partiellement la périodicité aperçue plus haut.

en partie du tambour

$$10x = 17,25u$$

d'où

$$x = 1,725u$$

$$[29 + 1,725 - 0,581]u = 1$$

d'où

$$u = \frac{1}{49,44} = 0^{mm},02023$$

et

$$x = 0^{mm},0349$$

Ainsi le tour de vis du microscope vaut $0^{mm},02023$, la longueur d'une division sur l'épreuve $0^{mm},0349$.

L'écart moyen étant de $0^t,05$ c'est-à-dire $\frac{1}{1000}$ de millimètre, les divisions sont toutes égales entre elles à une approximation, représentée par $\frac{1}{34,9}$ ou $\frac{1}{35}$ de leur valeur.

Il est bon de remarquer que sur l'échelle primitive, divisée sur noir de fumée, il peut y avoir des erreurs accidentelles du même ordre, car $\frac{1}{35}$ de division correspond à $0^{mm},03$ environ, et l'on n'est pas assuré que le noir de fumée a été partout régulièrement enlevé avec cette approximation.

En résumé, à quelque point de vue qu'on se place, la régularité dans l'épreuve daguerrienne est assez parfaite pour qu'on soit assuré que le dispositif optique est irréprochable et qu'on puisse se fier aux mesures absolues qu'on est en droit de lui demander.

MÉTHODE D'OBSERVATION

POUR

LE PASSAGE DE VÉNUS

ET POUR

LES ÉCLIPSES DE SOLEIL

PAR

M. A. CORNU

(Note lue à la Commission du passage de Vénus, dans sa séance du 21 juin 1873.)

Je me suis proposé de chercher, parmi les méthodes indiquées plutôt qu'usitées en astronomie, celle qui pourrait remplacer dans l'observation du passage de Vénus l'estime directe de l'heure des contacts, estime qui présente des difficultés signalées et discutées bien des fois par les astronomes et dont la précision devient très-bornée, avec l'emploi des procédés photographiques.

La méthode à laquelle je me suis arrêté, consiste dans la

mesure de la corde commune aux deux disques, c'est-à-dire de la distance des extrémités ou *cornes de l'échancrure* du disque solaire à des époques bien déterminées, surtout dans le voisinage de l'heure des contacts.

Le caractère essentiel de cette méthode repose sur la propriété géométrique suivante : La longueur de l'échancrure étant une quantité petite du premier ordre, l'épaisseur minimum du segment commun n'est que du second ordre.

Il en résulte que la mesure, même avec une précision médiocre de la longueur de l'échancrure, définit avec une très-grande précision la quantité dont l'un des disques a *mordu* sur l'autre, de sorte que, si l'on connaît la vitesse relative des deux disques, on calcule aisément l'époque du contact.

On ne saurait mieux comparer cette méthode, au point de vue géométrique, qu'à celle de Rœmer et Bessel pour la détermination de la latitude par l'observation d'une étoile zénithale dans le premier vertical : on détermine, par une mesure de temps, la longueur de la corde commune au petit cercle décrit par l'étoile et au cercle vertical perpendiculaire au méridien, et on en déduit les flèches avec une très-grande exactitude.

Au point de vue pratique, cette méthode me paraît la plus parfaite des méthodes indirectes proposées pour l'observation du passage de Vénus, c'est-à-dire des méthodes où l'on n'estime pas directement l'heure du contact. Comme instrument de mesure elle n'exige à la rigueur qu'un micromètre à un seul fil mobile, si l'on veut opérer par vision directe à l'équatorial : l'opération consiste à amener les

deux fils sur les deux cornes de l'échancrure, de façon qu'ils soient, en direction, bien perpendiculaires à la corde commune, et à estimer l'heure à laquelle la coïncidence est complète.

Ce mode d'observation a un autre avantage, c'est qu'il s'applique à une période où d'autres instruments réputés très-parfaits sont en défaut : je veux parler surtout de l'héliomètre, qui ne peut fonctionner utilement suivant la méthode ordinaire que lorsque les disques sont séparés.

Comme on l'aperçoit aisément, l'héliomètre peut également servir, quoique peut-être avec quelques précautions, à mesurer la longueur de l'échancrure : il suffirait de maintenir la ligne des centres des deux images parallèlement à la corde commune et de fixer le moment où les deux cornes opposées des deux images viennent en coïncidence.

Quant aux oculaires à double image, ils seraient évidemment d'un emploi très-avantageux et supérieur de beaucoup au dispositif compliqué et coûteux de l'héliomètre.

Mais c'est surtout dans l'observation photographique du phénomène que la méthode est avantageuse : en effet, grâce à l'énergie chimique de la lumière solaire, les épreuves peuvent être presque instantanées : l'époque à laquelle correspond l'image est donc définie avec une exactitude plus grande que par toute estime directe.

Quant aux mesures micrométriques des épreuves, elles peuvent être exécutées à loisir, avec une précision presque indéfinie (*).

(*) Voir plus haut la Note sur l'approximation en valeur absolue des pointés sur les épreuves daguerriennes du disque solaire, page 299.

Cet aperçu suffit pour montrer qu'à part l'estime directe du contact, la méthode photographique dont le principe vient d'être indiqué est supérieure de beaucoup à tous les autres modes d'observation.

MODES DE CALCUL.

Les données d'observation qu'on emprunte, soit aux mesures directes, soit au relevé des clichés photographiques sont les longueurs des cordes

$$2y_0 \quad 2y_1 \quad 2y_2 \ldots\ldots \quad 2y_n$$

et les époques correspondantes,

$$x_0 \quad x_1 \quad x_2 \ldots\ldots \quad x_n$$

et au besoin, les diamètres des deux disques 2R, $2r$, la distance H, h de leurs bords les plus voisins.

On peut, de ces données, déduire l'heure des contacts, de deux manières indépendantes et qui peuvent, jusqu'à un certain point, se contrôler mutuellement.

PREMIER MODE DE CALCUL.

Le premier mode de calcul est fondé sur la propriété suivante, qu'une construction graphique rend très-claire.

Si l'on porte les demi-longueurs des cordes y_0, y_1, comme ordonnées sur les époques correspondantes prises

comme abscisses, le lieu obtenu est sensiblement une ellipse (fig. 1), ayant pour petit axe le diamètre de la planète et

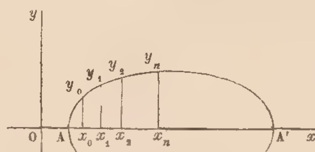


Fig. 1.

pour grand axe la durée du passage de la planète sur le bord solaire.

La courbe est en réalité du quatrième degré, mais elle se réduit à deux courbes du deuxième degré, qui sont des ellipses dans deux cas particuliers : 1° lorsque l'un des disques est très-grand par rapport à l'autre ; 2° lorsque les deux disques sont égaux.

En effet, soient

p la distance minimum de la trajectoire rectiligne du centre de la planète au centre du Soleil (fig. 2),

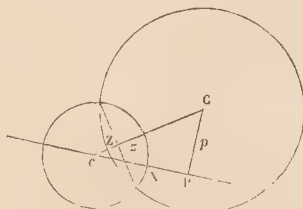


Fig. 2.

X l'époque où le centre de la planète passe au minimum de distance,

v la vitesse uniforme du mouvement,
R r les rayons des deux disques,
les deux flèches Z, z du segment commun sont respectivement données par les formules :

$$Z(Z-2R)=y^2$$
$$z(z-2r)=y^2$$

d'où

$$Z=R\pm\sqrt{R^2-y^2}$$
$$z=r\pm\sqrt{r^2-y^2}$$

Dans le triangle CcP on a :

$$(R+r-Z-z)^2=p^2+v^2(X-x)^2$$

ou

$$(\pm\sqrt{R^2-y^2}\pm\sqrt{r^2-y^2})^2=p^2+v^2(X-x)^2$$

courbe du quatrième degré qui se réduit à une ellipse lorsque $R=r$, car les deux radicaux deviennent identiques et disparaissent d'eux-mêmes :

$$4(R^2-y^2)=p^2+v^2(X-x)^2$$

Si le rayon R devenait infini, la formule deviendrait illusoire, car p et X seraient aussi infinis : l'une des boucles

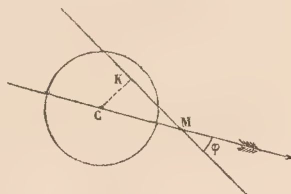


Fig. 3.

de la courbe du quatrième degré est infiniment éloignée, et celle qui reste devient une ellipse dont on a

directement l'équation par la considération de la figure ci-jointe (fig. 3).

Soit U l'époque où le centre du disque coupe le bord KM rectiligne du disque infiniment grand, et φ l'angle de la trajectoire avec ce bord.

Dans le triangle CKM on a :

$$\overline{CM}^2 \sin^2\varphi = \overline{CK}^2$$

$$v^2(U-x)^2 \sin^2\varphi = (r-z)^2 = r^2 - y^2$$

c'est l'équation d'une ellipse.

On retrouverait aisément cette équation en préparant convenablement celle du quatrième degré avant de supposer $R = \infty$.

Dans le cas du passage de Vénus où le diamètre de la planète est inférieur au trentième du diamètre solaire, la courbe représentative diffère peu d'une ellipse, surtout aux environs des sommets dont les abscisses représentent les heures des contacts.

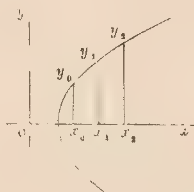


Fig. 4.

Pour faire le calcul, on déterminera par trois observations l'équation de l'ellipse osculatrice (fig. 4)

(1) $$Ay^2 + B(x-\alpha)^2 = 1$$

à la courbe en question

$$Ay_0^2 + B(x_0-\alpha)^2 = 1$$
$$Ay_1^2 + B(x_1-\alpha)^2 = 1$$
$$Ay_2^2 + B(x_2-\alpha)^2 = 1$$

d'où, en retranchant membre à membre

$$A(y_1^2 - y_0^2) + B\left[(x_1-\alpha)^2 - (x_0-\alpha)^2\right] = 0$$
$$A(y_1^2 - y_0^2) + B(x_1-x_0)\ [x_1 + x_0 - 2\alpha] = 0$$

(2) $$\begin{cases} \dfrac{A}{B}\dfrac{(y_1^2-y_0^2)}{x_1-x_0} + x_1 + x_0 - 2\alpha = 0 \\ \dfrac{A}{B}\dfrac{(y_2^2-y_0^2)}{x_2-x_0} + x_2 + x_0 - 2\alpha = 0 \end{cases}$$

Les deux équations (2) retranchées membre à membre déterminent le rapport $\frac{A}{B}$ puis α : enfin la substitution des coordonnées de l'un des points dans l'une des équations (1) définit A et B.

On en conclut l'abscisse du sommet voisin des trois points choisis en faisant $y = 0$ dans l'équation (1) : elle représente l'heure du contact

$$x = \alpha \pm \frac{1}{\sqrt{B}};$$

le signe $\pm$ se détermine sans aucune hésitation.

Ce mode de calcul n'offre aucune difficulté : il a l'avantage de n'exiger aucune *mesure absolue d'angles ou de longueurs :* on construit, pour ainsi dire, une *courbe d'erreur* dont la forme est connue d'avance, et on détermine l'ordonnée nulle.

On voit encore aisément que, si les déformations de

l'image qu'on mesure suivent une loi régulière avec le temps, la précision de la méthode ne change pas, à la condition qu'on opère dans le voisinage des contacts. En effet toute déformation qui n'agira sur les ordonnées que par un terme de la forme $a + b\theta$, on aura

$$A(y + b\theta)^2 + B(x - \alpha)^2 = 1$$

$$\theta = (x - \alpha) \pm \frac{1}{\sqrt{B}}$$

θ étant le temps écoulé à partir de l'abscisse du sommet ne changera pas la nature de la courbe, qui restera une ellipse ; de plus, cette ellipse aura même sommet, car la déformation étant nulle lorsque l'échancrure est nulle, le terme constant a est égal à zéro. Par suite, l'équation que l'on emploiera sera une équation empirique, mais qui, malgré cela, définira le sommet, c'est-à-dire l'époque du contact avec la même précision.

Ainsi la réfraction, le déplacement diurne, la déformation des images optiques n'ont pas d'influence sur le résultat définitif.

Quant à l'application des méthodes du calcul des probabilités à un nombre surabondant d'observations, elle ne laisse pas d'être un peu pénible : je n'entre pas dans le détail des essais que j'ai tentés pour la simplification de ces calculs, par la considération d'une certaine parabole qu'on peut substituer à l'ellipse. Il y aurait d'ailleurs lieu d'étudier ultérieurement le système de formules les plus appropriées à la discussion des observations.

Les mêmes considérations s'appliquent également à l'observation des éclipses de Soleil par la Lune. Au point

de vue géométrique, on se trouve dans le cas également favorable où les deux disques sont égaux et où la courbe représentative des observations est une ellipse.

Au point de vue de la précision, le disque de la Lune, dont les bords sont irréguliers, se prête moins bien que celui de planètes plus éloignées ; mais, ainsi que je l'ai vérifié par des observations photographiques de l'éclipse du 26 mai 1873, les résultats sont très-satisfaisants et font bien augurer de l'application de la méthode au passage de Vénus (*).

DEUXIÈME MODE DE CALCUL.

La méthode précédente exige trois observations, convenablement espacées, et serait en défaut, ou tout au moins peu avantageuse, si, pour un motif ou pour un autre, on ne disposait que d'observations par trop voisines du contact et entachées de petites incertitudes. On voit qu'alors le sommet de l'ellipse serait très-mal défini par ces trois points qui, par l'époque de leur détermination, seraient cependant fort avantageux.

J'ai songé à parer à cet inconvénient en supposant connus les diamètres des deux planètes, la position de la trajectoire relative et la vitesse du mouvement. Comme ces données n'entrent que pour calculer une correction fort petite (dans l'hypothèse où nous sommes placés), ces éléments n'ont pas besoin d'être connus avec une grande

---

(*) Voir plus loin : *Résultats numériques relatifs à l'observation photographique de l'éclipse partielle du Soleil du* 26 *mai* 1873.

exactitude et, à la rigueur, les tables astronomiques la fourniraient avec une précision plus que suffisante. Mais, en général, on n'aura pas besoin de recourir aux tables : l'observation directe ou le relevé des clichés donnera tous ces éléments.

Voici le détail du calcul.

Dans l'équation générale précédemment établie

$$(R+r-Z-z)^2=p^2+v^2(X-x)^2$$

où

$$Z=R\pm\sqrt{R^2-y^2}$$

$$z=r\pm\sqrt{r^2-y^2}$$

posons

$$R+r=\rho$$

$$Z+z=\zeta$$

$$(\rho-\zeta)^2=p^2+v^2(X-x)^2$$

Soit $x=x_0$ l'heure du premier contact.

On aura :

$$\zeta=0$$

d'où

$$\rho^2=p^2+v^2(X-x_0)^2$$

d'où

$$v^2=\frac{\rho^2-p^2}{(X-x_0)^2}$$

Retranchant membre à membre

$$\begin{aligned}-2\rho\zeta+\zeta^2&=v^2\left[(X-x)^2-(X-x_0)^2\right]\\&=v^2[X-x-X+x_0]\quad[X-x+X-x_0]\\&=v^2[x_0-x]\quad[2X-(x+x_0)]\end{aligned}$$

$$\zeta\left(1-\frac{\zeta}{2\rho}\right)=\frac{v^2}{2\rho}[x-x_0]\quad[2X-x+x_0]$$

Substituant la valeur de v^2

$$\zeta\left(1-\frac{\zeta}{2\rho}\right)=\frac{\rho^2-p^2}{\rho(X-x_0}\,(x-x_0)\cdot\left(X-\frac{x+x_0}{2}\right)$$

$$x-x_0=\frac{\rho(X-x_0)^2}{\rho^2-p^2}\,\frac{\zeta\left(1-\frac{\zeta}{2\rho}\right)}{\left(X-\frac{x+x_0}{2}\right)}$$

Formule qu'on peut résoudre par approximation, en négligeant au numérateur ζ^2, et au dénominateur la différence $x - x_0$: dès lors on a la formule très-simple

$$x-x_0=\frac{\rho(X-x_0)}{\rho^2-p^2}\cdot\zeta$$

laquelle ser à calculer une valeur approchée de x à l'aide de laquelle on poursuit l'approximation.

On conçoit aisément que cette méthode ne donne de résultats précis qu'avec des observations assez rapprochées des contacts, à moins qu'on n'ait à sa disposition des *mesures absolues* très-exactes, ce qui exclut les observations entachées d'erreurs provenant de déformations optiques ou autres.

Comme mode de discussion des observations isolées, cette méthode de calcul est très-avantageuse, car elle permet d'apprécier la concordance de l'une quelconque d'entre elles sans que l'influence des autres se fasse sentir.

RÉSUMÉ.

En résumé, la méthode d'observation de la *corde commune* ou de l'*échancrure* permet d'utiliser une longue période du passage à la détermination de l'heure des con-

tacts : elle peut s'appliquer aux observations soit de l'héliomètre, soit de l'équatorial muni d'un oculaire à double image, même à la rigueur, d'un micromètre à un seul fil. Mais elle est surtout avantageuse dans les observations photographiques, à cause de la double précision de la mesure de l'heure et du relevé micrométrique.

Enfin deux modes de calcul très-simples permettent de calculer, de contrôler et de discuter les résultats.



RÉSULTATS NUMÉRIQUES

RELATIFS A

L'OBSERVATION PHOTOGRAPHIQUE

DE L'ÉCLIPSE PARTIELLE DU SOLEIL

DU 26 MAI 1873

PAR

M. A. CORNU.

(Note présentée à la Commission du Passage de Vénus, dans sa séance du 21 juin 1873.)

Une lunette photographique de dimensions moitié moindres que celles qui ont été adoptées par la Commission, ayant été construite en vue d'études relatives à la construction et à l'installation des appareils définitifs, j'ai pensé qu'il était utile de l'employer à l'observation photographique de l'éclipse partielle de Soleil du 26 mai 1873 afin de se rendre compte, par l'observation d'un phénomène analogue à celui du passage de Vénus, du maniement des appareils et de l'efficacité des méthodes proposées pour le relevé micrométrique des épreuves. (Voir plus haut la Note sur *la méthode d'observation pour le passage de Vénus*, etc.)

La lunette photographique se composait d'un objectif dont les verres étaient de matière identique à celle des objectifs des quatre appareils définitifs commandés par la Commission : l'ouverture ($72^{mm},5$), les courbures et par suite la distance focale de cet objectif avaient une valeur égale à la moitié de celles des objectifs précités. Un tube carré en bois servant de corps à la lunette ; le porte-plaque et le tube de tirage avaient été empruntés à la lunette construite par MM. Brunner et décrits dans une précédente communication.

L'objectif en question a d'abord été étudié suivant les règles que j'ai données : le résultat de ces études a été le suivant : l'intervalle entre la lentille convergente de crown-glass et la lentille divergent de flint-glass, était de $27^{mm},7$ pour que l'achromatisme chimique fût aussi satisfaisant que possible : la distance focale se réduisait ainsi à $1^{m},876$ comptés à partir de la surface extérieure du crown. (Un écartement donné des deux verres produisait une diminution de foyer environ 7 fois $\frac{1}{2}$ plus considérable.)

La disposition générale de l'appareil était celle adoptée par la Commission : la lunette photographique était posée horizontalement sur des supports en bois : un héliostat de Silberman, muni d'un miroir plan, retouché par M. Martin, permettait de renvoyer le faisceau solaire suivant l'axe de la lunette.

Le local où était installé l'appareil n'était malheureusement pas très-favorable ; c'était une mansarde située au cinquième étage du pavillon des élèves, à l'École polytechnique : la stabilité du plancher était assez médiocre et les trépidations du bâtiment nuisaient beaucoup à la per-

fection des images photographiques. De plus, la seule fenêtre utilisable était exposée au levant, c'est-à-dire presque dans la direction du Soleil au moment de l'éclipse ; la réflexion sur le miroir était très-oblique.

L'opération a été conduite de manière à représenter autant que possible l'opération définitive lors du passage de Vénus. Un chronomètre réglé à quelques secondes près sur le temps moyen, m'avertit de l'époque approximative du premier contact, que d'ailleurs j'observais par projection à l'aide d'une lentille auxiliaire fixée en arrière de la lunette ; j'étais malheureusement presque seul pour suffire à tout, de sorte que je laissai écouler plus de 50 secondes avant de faire la première épreuve. A partir de ce moment tout a fonctionné régulièrement et j'ai obtenu trente épreuves du Soleil, aux heures indiquées dans le tableau ci-après ; elles furent réparties en trois groupes : douze dans les six premières minutes d'observation, huit pendant le maximum de l'éclipse et dix vers l'époque du dernier contact : vingt-quatre de ces images ont pu être utilisées pour les mesures.

Ces épreuves obtenues sur plaqué d'argent d'après le procédé de Daguerre, c'est-à-dire sensibilisées à l'iode pur (quelques-unes exposées légèrement à la vapeur de brôme, pour accélérer l'action) ont été mises sous les yeux de la Commission : avec un grossissement de 25 fois la netteté des bords était très-satisfaisante malgré les imperfections diverses de l'appareil d'essai.

J'ai relevé, à l'aide d'une vis micrométrique faisant mouvoir l'épreuve sur un chariot à coulisse, la longueur des échancrures successives produites sur l'image solaire par le bord de la lune ainsi que le diamètre du disque du So-

leil. Le tableau ci-joint renferme les résultats de ces mesures qui ont toutes été répétées deux fois et qui ont toujours été concordantes à moins d'un centième de millimètre ; cette précision est bien suffisante pour la méthode que j'ai décrite dans une Note précédente, car la longueur de l'échancrure, ou corde commune aux deux disques, ne sert qu'à calculer la flèche correspondante. Les chiffres romains indiquent le numéro d'ordre des plaques daguerriennes : l'unité ou tour de vis de l'appareil micrométrique était : $1^t = 0^{mm},503$.

RÉSULTATS DU RELEVÉ MICROMÉTRIQUE

DES ÉPREUVES DAGUERRIENNES DU SOLEIL OBTENUES PENDANT L'ÉCLIPSE PARTIELLE DU 26 MAI 1873.

	$2y$ LONGUEUR de l'échancrure.	$2R$ DIAMÈTRE solaire.	T ÉPOQUE de l'épreuve.		$2y$ LONGUEUR de l'échancrure.	$2R$ DIAMÈTRE solaire.	T ÉPOQUE de l'épreuve.
I.	4^t73 5,07	34^t91	$7^h\ 45^m\ 50^s$ 46 0	IX.	24^t26 24,25	34^t94	$8^h\ 39^m\ 40^s$ 39 50
II.	8,17 8,34		47 40 47 50	X.	19,48 19,33		9 4 10 4 50
III.	9,98 10,41	34,72	49 10 49 30	XI.	15,73 15,48	34,74	12 50 13 0
IV.	12,19 12,44		51 20 51 30	XIII.	6,74 6,18		23 10 23 20
V.	14,06 »		53 30 »	XIV.	4,80 »		24 10 »
VII.	24,40 24,47		8 31 40 31 50	XV.	1,92 0,00	34,78	25 10 25 20
VIII.	24,44 24,45	34,93	34 20 34 30				

De ces nombres, sans avoir égard à la valeur absolue ou angulaire des épreuves, on déduit les époques des deux contacts, c'est-à-dire précisément les éléments qu'on cherche a obtenir dans l'observation du passage de Vénus.

Voici l'application des deux méthodes de calcul décrites dans la Note précédente.

Un premier aperçu des résultats a été obtenu en construisant graphiquement les deux portions d'ellipse correspondant au commencement et à la fin de l'éclipse; ce tracé m'a même permis de corriger immédiatement une erreur de une minute commise par inadvertance sur les époques des épreuves n° I.

Première méthode de calcul.

J'ai choisi sur le tracé graphique les trois points qui dans chaque cas définiraient le mieux l'ellipse osculatrice, et qui se correspondaient à peu près comme disposition.

Premier contact.		*Deuxième contact.*	
$2y_0 = 4^t,73$	$x_0 = 7^h 45^m 50^s$	$2y_0 = 15^t,48$	$x_0 = 9^h 13^m 0^s$
$2y_1 = 8,17$	$x_1 = 7\ 47\ 40$	$2y_1 = 6,74$	$x_1 = 9\ 23\ 10$
$2y_2 = 14,06$	$x_2 = 7\ 53\ 30$	$2y_2 = 4,80$	$x_2 = 9\ 24\ 10$

Pour simplifier le calcul on a retranché, respectivement aux abscisses, les quantités constantes, $7^h 45^m 50^s$ et $9^h 13^m 0^s$. On arrive sans peine à déterminer les coefficients de l'équation de l'ellipse

$$Ay^2 + B(x-\alpha)^2 = 1$$

On trouve directement

$$\frac{A}{B} = 62760 \qquad \frac{A}{B} = 48937$$

$$\frac{1}{B} = 10.718\,000 \qquad \frac{1}{B} = 5\,629\,700$$

$$\alpha = 3269^s,7 \qquad \alpha = -1742^s,5$$

d'où l'on conclut l'abscisse du sommet par la formule

$$x' = \alpha - \frac{1}{\sqrt{B}}$$

$$\frac{1}{\sqrt{B}} = 3273^s,7 \qquad \frac{1}{\sqrt{B}} = 2371^s,9$$

$$x' = -4^s,0 \qquad x' = 730^s,4 = 12^m\,10^s,4$$

et par suite les époques x_1 et x_2 des deux contacts

$$x_1 = 7^h\,44^m\,56^s,0 \qquad x_2 = 9^h\,25^m\,10^s,4$$

Ces calculs se vérifient aisément en utilisant les équations surabondantes que fournit la permutation des indices (1,0) (2,1) (2,0)

La *Connaissance des temps* pour 1873 (p. 393) donnait comme durée approximative de l'éclipse $1^h\,40',3$, à un dixième de minute près.

J'ai trouvé, d'après l'observation photographique

$$x_2 - x_1 = 1^h\,40^m\,14^s,5$$

Ces résultats présentent une vérification qu'il importe de signaler : comme le mouvement relatif de la lune est sensiblement rectiligne et uniforme les *deux portions* de courbe voisines du sommet doivent être identiques ; je dis les *deux portions*, car le reste des ellipses osculatrices ne sont pas nécessairement identiques ; il est évident en effet que les longueurs absolues des deux axes sont mal définies par les points voisins du sommet ; par suite on ne peut pas de-

mander que les valeurs de A ou de B soient égales dans les deux calculs.

Mais ce qu'on peut exiger avec une exactitude plus grande c'est l'égalité *de forme au sommet,* c'est-à-dire l'égalité des rayons de *courbure* en ce point. Ce rayon de courbure se calcule aisément en rapportant l'ellipse à son sommet ; à cet effet posons $u = x + x'$, x' étant l'abcisse du sommet, c'est-à-dire

$$x' = \alpha \pm \frac{1}{\sqrt{B}}$$

et substituant la valeur de $x' - \alpha$ dans l'équation de l'ellipse, il vient

$$y^2 = \pm \frac{2\sqrt{B}}{A} u \quad - \frac{A}{B} u^2$$

d'où l'on conclut que le rayon de courbure au sommet est $\frac{\sqrt{B}}{A}$, par identification avec l'équation du cercle :

$$y^2 + (u \pm R)^2 = R^2.$$

La substitution des valeurs numériques donne dans les deux cas

$$\frac{\sqrt{B}}{A} = 0{,}0521 \qquad \frac{\sqrt{B}}{A} = 0{,}0484$$

valeurs dont l'égalité est satisfaisante eu égard à l'ordre d'approximation que des mesures aussi indirectes peuvent fournir pour le calcul de la courbure de la ligne empirique.

Deuxième méthode de calcul.

Elle exige d'abord la connaissance de la valeur relative des demi-diamètres des deux astres : on pourrait l'em-

prunter aux tables (*Connaissance du temps* pour 1873, page 391)

$$\begin{aligned} R \text{ (soleil)} &= 15'48'',5 = 948'',5 \\ r \text{ (lune)} &= 15'39'',0 = 939'',0 \end{aligned}$$

d'où

$$\frac{r}{R} = 0,9900$$

mais j'ai préféré ne rien emprunter aux tables et déduire ce rapport des épreuves elles-mêmes : l'échancrure maximum se trouve en effet sur les épreuves du milieu de l'éclipse à l'époque $\frac{1}{2}(x_1 + x_2) = 8^h 35^m 3^s,2$ d'après la méthode précédente : on a justement fait une épreuve (VIII) à $8^h 34^m 30^s$; d'où l'on conclut par une interpolation à vue

$$ry = 24^{t.},46.$$

Le diamètre solaire a été sur la même épreuve égal à

$$2R = 34^{t.},93.$$

De plus j'ai mesuré la distance maximum du bord des deux astres

$$H = 24^{t.},89.$$

De ces trois données on peut déduire le diamètre lunaire avec une certaine précision : en effet soit p la distance minimum des centres on a

$$H = p + R - r$$

or la distance des centres est dans tous les cas représentée par

$$\sqrt{R^2 - y^2} + \sqrt{r^2 - y^2}$$

d'où

$$H = \sqrt{R^2 - y^2} + \sqrt{r^2 - y^2} + R - r$$

Développant et appelant pour simplifier

$$L = R + \sqrt{R^2 - y^2}$$

il vient

$$r = \frac{(L - H)^2 + y^2}{2(L - H)}.$$

La substitution des valeurs adoptées donne $r = 17^{t.},356$ d'où

$$\frac{r}{R} = 0,9938$$

qui ne diffère du rapport calculé d'après les tables que de 0,0038 : les inégalités du bord de la Lune suffiraient presque à expliquer cette petite divergence ; d'ailleurs la marche indirecte suivie pour cette détermination ne comporte guère une plus grande précision.

Quant à la vitesse relative de la Lune, on peut aussi se passer du secours des tables : en effet elle est donnée par la formule

$$v^2 = \frac{\rho^2 - p^2}{(X - x_1)^2}$$

où $\rho = R + r$, X est l'époque du milieu de l'éclipse et x_1 celle du premier contact. On peut adopter pour $X - x_1$ la valeur approchée déduite de la première méthode $X - x_1 = 50^m 7^s,2 = 3007^s,2$,

d'où l'on conclut $v^2 = 000066171$, $\quad \frac{\rho}{v^2} = 56262300$,

Appliquant maintenant la formule donnée dans la Note précédente en y laissant subsister v^2

$$x - x_1 = \frac{\rho}{v^2} \cdot \frac{\zeta\left(1 - \frac{\zeta}{2\rho}\right)}{X - \frac{x + x_1}{2}}$$

avec

$$\zeta = R - \sqrt{R^2 - y^2}.$$

On peut donc avoir autant de valeurs de x_1 qu'il y a de valeurs de ζ, c'est-à-dire de valeurs convenables de y.

Mais la méthode ne s'applique avec précision que si la flèche calculée $(x - x_1)$ est très-petite par rapport à l'ordonnée y : or, comme les épreuves correspondent à des époques assez éloignées du contact, il n'y a guère que les épreuves n° I, n° XIV et n° XV qui satisfassent aux conditions énoncées.

Dans une première approximation on peut remplacer au dénominateur x par la valeur approchée de x_1 : l'erreur commise n'atteint que les dixièmes de seconde : une seconde approximation donne alors la valeur plus exacte. Voici les résultats numériques :

PREMIER CONTACT.		DEUXIÈME CONTACT.	
N° I, 1re ÉPREUVE.	N° I. 2me ÉPREUVE.	N° XIV, 1re ÉPREUVE.	N° XV, 1re ÉPREUVE.
$2y = 4,73$ $x = 7^h\, 45^m\, 50^s$ $\zeta = 0,322$ $x_1 - x = - 60^s,8$ $x_1 = 7^h\, 44^m\, 59^s,2$	$2y = 5,07$ $x = 7^h\, 46^m\, 0^s$ $\zeta = 0,372$ $x_1 - x = - 70^s,3$ $x_1 = 7^h\, 44^m\, 59^s,7$	$2y = 4,80$ $x = 9^h\, 24^m\, 10^s$ $\zeta = 0.332$ $x_2 - x = + 62,7$ $x_2 = 9^h\, 25^m\, 12^s,7$	$2y = 1,92$ $9^h\, 25^m\, 10^s$ $\zeta = 0,054$ $x_2 - x = + 1^s,0$ $x_2 = 9^h\, 25^m\, 11^s$
Moyenne. . . $x_1 = 7^h\, 44^m\, 59^s,5$		Moyenne. . . $x_2 = 9^h\, 25^m\, 11^s,9$	
Moyenne. . . . $x_2 - x_1 = 1^h\, 40^m\, 12^s,4$			

Cette seconde méthode fournit des valeurs très-rapprochées de celles déduites de la première ; la différence est de $+ 3^s,5$ pour le premier contact et de $+ 1^s,5$ pour le second.

Cette concordance est plus remarquable qu'elle ne le paraît au premier abord, car le problème résolu est celui-ci. On a déterminé l'instant du contact des deux astres en ne commençant l'observation que plus de 50 secondes après que ce contact a eu lieu (au moins pour le premier). Évidemment les circonstances sont très-défavorables et on juge quel avantage on aurait si l'observation avait pu être faite plus tôt,

En résumé, ces résultats numériques me paraissent promettre beaucoup pour l'observation du passage de Vénus : le disque de la planète sera, il est vrai, plus petit, mais il se mouvra plus vite par rapport à son diamètre et l'échancrure sera plus nette : et comme la planète mettra plus d'un quart d'heure à traverser le bord du Soleil, on pourra aisément obtenir à l'entrée et à la sortie 40 à 50 épreuves, dont la discussion donnera l'heure des contacts avec une grande précision.

Remarques faites à l'occasion de ces essais.

1° L'effet fâcheux de la chaleur solaire sur le miroir s'est fait ressentir dans mes observations. Il y a eu une légère *cambrure* de la surface qui a nécessité au début, avant l'heure de l'éclipse, une petite rectification du foyer : en outre une observation attentive des images daguerriennes montre une petite différence de netteté sur les bords du disque dans deux directions rectangulaires : le diamètre dont les bords sont les plus nets sont toujours dans le plan de réflexion ; il s'est donc produit un effet d'*astigmatisme* qui prouve la courbure du miroir.

Cet effet, je dois le dire, était d'ailleurs exagéré par l'obliquité extrême de la réflexion, obliquité commandée par l'orientation de la lunette et la disposition du local; d'autre part, par la nécessité où j'étais, faute d'aide, de laisser le miroir découvert plus longtemps qu'il n'était strictement nécessaire.

2° Mais cet inconvénient m'a suggéré une précaution que je considère comme très-utile à la perfection des images photographiques définitives : elle se résume dans la condition suivante :

Installer dans chaque station la lunette photographique de manière que l'angle moyen de réflexion sur le miroir pendant toute la durée du passage de Vénus soit minimum.

A cet effet on dirigera l'axe horizontal de cette lunette dans le plan vertical mené par la position du Soleil au milieu de l'éclipse, le côté de l'objectif tourné dans le sens opposé au Soleil.

Je ne pense pas qu'on puisse faire d'objection sérieuse à cette condition : la connaissance de l'azimut absolu de la lunette pourra toujours être déterminé avec un simple théodolite avec une exactitude bien suffisante pour la plupart des cas. Une extrême précision ne serait nécessaire que dans le cas où l'on voudrait relever photographiquement les positions absolues ; mais l'emploi d'un miroir sans mouvement parallactique, la difficulté du réglage d'un fil horizontal ou vertical au foyer de la lunette font évanouir toutes les espérances qu'on pourrait fonder sur le relèvement des positions absolues.

3° La nécessité d'un réglage facile et prompt du miroir m'a apparu comme l'une des conditions les plus impor-

tantes à réaliser : les pièces articulées de l'héliostat ont présenté des *temps perdus* qui me font rejeter en principe tout système d'articulations sans vérification optique directe, dans le dispositif à adopter. Je me propose de présenter à la Commission quelques essais du dispositif présentant une certaine analogie avec l'héliotrope de Gauss, destinés à amener avec certitude l'image au milieu du champ, et à rectifier au besoin sa position.

4° Enfin j'appellerai l'attention des observateurs sur la nécessité de se munir de substances accélératrices (chlorure d'iode, bromure de chaux, bromure d'iode, eau bromée) dont l'emploi peut dans certains cas être nécessaire pour l'obtention des épreuves ; ainsi un peu avant le commencement de l'éclipse du 26 mai, quoique le temps fût très-beau, une légère brume survint, qui affaiblit beaucoup la puissance chimique des rayons solaires : je fus obligé d'exposer pendant quelques secondes les plaques iodées à la vapeur de brome provenant de bromure de chaux ; sans cette précaution, les bords du Soleil n'auraient pas été marqués, et j'aurais certainement perdu les premières observations : la brume se dissipa bientôt et l'addition de brome devint inutile. Comme règle générale, on doit se rappeler qu'il y a beaucoup moins d'inconvénients même à *brûler* les épreuves solaires qu'à les impressionner imparfaitement : les épreuves brûlées offrent encore des contours nets, tandis que les autres ne sont d'aucun usage.

ÉTUDE

DE

LA DISPERSION DES VERRES

EMPLOYÉS A LA CONFECTION DES OBJECTIFS

DES LUNETTES PHOTOGRAPHIQUES DE LA COMMISSION

PAR

M. A. CORNU

(Lue à la Commission du passage de Vénus, le 16 décembre 1873.)

Lorsque la Commission du passage de Vénus eut commandé à M. Lorieux la construction des quatre lunettes photographiques, je priai le constructeur de me fournir deux prismes taillés dans les matières mêmes qui devaient servir à la confection des objectifs.

L'étude de la dispersion de ces verres était nécessaire, afin de constater si l'achromatisme auquel ils pouvaient conduire répondait aux exigences des opérations photographiques.

Cet examen a été effectué au mois de mai dernier, et lorsque les verres ont été jugés satisfaisants, le constructeur a pu faire commencer les objectifs.

Le résultat de cet examen est très-favorable : la Commission peut juger, par le tracé graphique qui résume ces mesures, que la *courbe d'achromatisme* permet un achromatisme photographique complet sans altérer beaucoup l'achromatisme visible, condition très-commode pour la mise au point rigoureuse.

Les indices relatifs aux diverses raies du spectre ont été mesurés à l'aide d'un très-bon goniomètre de Brunner, dont le cercle de 25 centimètres de diamètre permet d'évaluer les 3″ et d'apprécier 1″,5.

TABLEAU DES MESURES.

	DOUBLE DÉVIATION MINIMUM.	
	Prisme de Flint glass.	Prisme de Crown glass.
Raie A	2D = 94° 12′ 36″	2D = 78° 43′ 30″
— C	95 12 45	79 15 12
— D (la plus réfrangible).	96 9 51	79 44 12
— *b* (la moins réfrangible).	97 37 57	80 27 24
— F	98 33 39	80 54 6
— G	100 47 24	81 54 57
Double de l'angle du prisme.	2A = 119° 59′ 56″	2A = 120° 0′ 15″

Le calcul des indices relatifs à ces diverses raies a donné

	n'	n
A.	1,60881	1,52487
C.	1,61399	1,52785
D.	1,61889	1,53057
b.	1,62638	1,53460
F.	1,63108	1,53709
G.	1,64226	1,54273

Si l'on construit une courbe (fig. 1) dont les abscisses et les ordonnées soient les valeurs

$$x = n - 1 \text{ (Crown)}$$
$$y = n' - 1 \text{ (Flint)}$$

correspondant aux mêmes raies, on reconnaît que cette courbe est presque rectiligne depuis le milieu du spectre visible (entre D et F).

(Pour rendre plus claire la démonstration ultérieure, on a beaucoup exagéré la courbure de la ligne et retranché une constante aux abscisses et aux ordonnées.)

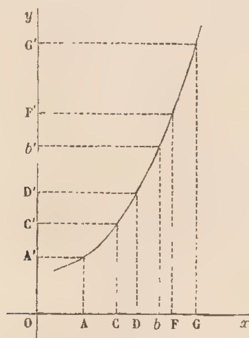


Fig. 1.

Or je démontre, dans une Note jointe à ce Mémoire, que la condition d'achromatisme est d'autant mieux satisfaite que la projection de la courbe ainsi définie (et que je nomme *courbe d'achromatisme*) sur une direction convenablement choisie est plus étroite : il est évident que, pour une longueur donnée de courbe (et l'accouplement des verres de nature analogue à ceux qu'on emploie pour les objectifs

donne sensiblement à cette courbe la même forme et le même développement), l'existence d'une portion presque rectiligne donne une *flèche moyenne* plus courte, c'est-à-dire une erreur d'achromatisme plus faible que si la courbure était continue et dans le même sens sur toute l'étendue de l'arc.

Il en résulte aussi que, l'achromatisme des rayons les plus réfrangibles une fois obtenu, l'achromatisme des rayons visibles sera peu altéré, parce que la corde de l'arc représentant les radiations violettes et ultraviolettes diffère très-peu de la corde analogue correspondante aux radiations visibles les plus intenses (jaune, vert).

La conclusion de cette étude est que les verres employés sont très-convenables pour l'achromatisme photographique, et que, de plus, la mise au point sera très-aisée, à cause du peu d'altération de l'achromatisme des rayons visibles, surtout si l'on cherche à mettre au point avec un verre de couleur verte, enlevant la majeure partie des rayons rouges.

Comme vérification de ces conclusions, l'étude directe d'un objectif de demi-grandeur a conduit aux résultats prévus. Cet objectif a, de plus, été employé pour observer photographiquement l'éclipse partielle de Soleil du 26 mai 1873; cette opération a parfaitement réussi et un compte rendu en a été donné à la Commission, dans sa séance du 21 juin dernier.

THÉORIE ÉLÉMENTAIRE

DE

LA MÉTHODE D'ACHROMATISME

DES OBJECTIFS PAR ÉCARTEMENT DES VERRES

PAR

M. A. CORNU

(Lue à la Commission du passage de Vénus, le 16 décembre 1873.)

Considérons une lentille convergente dont on néglige l'épaisseur : la relation entre les deux distances au centre optique des foyers conjugués p, p', n étant l'indice de réfraction :

$$\frac{1}{p}+\frac{1}{p'}=(n-1)\left(\frac{1}{R}+\frac{1}{R'}\right)=\frac{1}{f}=(n-1)P.$$

La lentille divergente destinée à l'achromatiser conduit à une relation analogue

$$\frac{1}{q}-\frac{1}{q'}=(n'-1)\left(\frac{1}{s}+\frac{1}{s'}\right)=\frac{1}{g}=(n'-1)Q.$$

Considérons les rayons parallèles incidents, $p=\infty$,

$$\frac{1}{p'}=\frac{1}{f}$$

Ce point de convergence est considéré comme source lumineuse pour la seconde lentille : si l'on suppose que les deux lentilles sont séparées d'une longueur a, on a

$$q = f - a,$$

d'où l'on conclut la valeur du foyer résultant $\varphi = q'$

$$\frac{1}{f-a} - \frac{1}{\varphi} = \frac{1}{g}$$

ou bien
$$\frac{1}{\varphi} = \frac{1}{q'} = \frac{1}{f}\left(1 - \frac{a}{f}\right)^{-1} - \frac{1}{g},$$

substituant à f et g leurs valeurs

$$\frac{1}{\varphi} = \left(1 - \frac{a}{f}\right)^{-1} (n-1)\,\mathrm{P} - n' - 1\,\mathrm{Q},$$

Comme le terme $\frac{a}{f}$ est très-petit, quoique f varie un peu avec n, on peut en prendre la valeur moyenne et la regarder comme constante.

La condition d'achromatisme parfait serait que φ restât constant quelles que fussent les valeurs de n et n'.

USAGE DE LA COURBE D'ACHROMATISME.

Considérons la courbe dont chaque point serait défini par deux coordonnées x et y (Voir fig. 1 du précédent Mémoire),

$$x = n - 1 = \mathrm{ON},$$
$$y = n' - 1 = \mathrm{NM},$$

telle que les abscisses et les ordonnées correspondent à la même couleur ou mieux à la même raie : soit $\mathrm{M_1 M}$ cette

courbe (fig. 2) : la région M_1 correspond aux rayons rouges du spectre, la région M aux rayons violets.

Fig. 2.

L'expression $\frac{1}{\varphi}$

$$\frac{1}{\varphi}=\left(1-\frac{a}{f}\right)^{-1}\mathrm{P}x-\mathrm{P}'y$$

peut être considérée comme la projection du rayon vecteur OM, ou de ON′ NM

$$\mathrm{OM}'=x\cos\alpha-y\sin\alpha.$$

La condition d'achromatisme s'interprète ainsi :

Chercher à rendre OM′ *aussi constant que possible pour un arc de courbe* MM_1 *donné.*

Il est évident que la condition sera remplie le mieux possible en projetant suivant la corde MM_1 ou bien suivant la tangente au milieu de MM_1.

D'où l'on conclut

$$\frac{\left(1-\frac{a}{f}\right)^{-1}\mathrm{P}}{\cos\alpha}=\frac{\mathrm{P}'}{\sin\alpha}=\frac{\frac{1}{\varphi}}{\mathrm{OM}'}$$

$$\operatorname{tang}\alpha=\frac{\mathrm{P}'}{\mathrm{P}}\left(1-\frac{a}{f}\right).$$

On voit que α diminue quand a augmente : donc la direction de la corde, ou direction moyenne de la courbe, lorsque a grandit, correspond à des points de plus en plus éloignés de l'origine M_1.

Or, avec les valeurs de n et n', les points vers M_1 correspondent aux rayons rouges, et les points vers M aux rayons violets : donc l'écartement des verres entraîne l'achromatisme moyen vers les rayons violets : — De plus OM' ou $\frac{1}{\varphi}$ augmente, donc φ diminue.

Première remarque. — Cette théorie est plus précise qu'elle ne le paraît au premier abord : l'hypothèse de l'épaisseur négligeable des lentilles se trouve compensée d'elle-même par la considération d'un intervalle additionnel, égal à très peu près à la distance des deux points *nodaux principaux* optiquement consécutifs des deux lentilles ; de sorte que, si l'on suppose que a est l'intervalle compris entre les points, au lieu d'être la distance des centres optiques, la compensation est presque rigoureuse.

Deuxième remarque. — Si dans la valeur de tang α on substitue $\frac{1}{f} = (n - 1)\,\mathrm{P}$, dont on avait simplement pris la valeur moyenne pour rendre la démonstration plus simple, il vient :

$$\operatorname{tang} \alpha = \frac{\mathrm{P}'}{\mathrm{P}} - a\mathrm{P}'(n - 1).$$

Cette expression plus précise montre encore une circonstance favorable à l'achromatisme chimique, car le fac-

teur $(n-1)$ grandit du rouge au violet; il en résulte que l'écartement des verres est optiquement plus considérable que l'écartement géométrique pour les rayons violets comparés aux rayons rouges; il n'est donc pas nécessaire de séparer les verres d'une quantité aussi grande que celle qui est indiquée par l'expression approchée de tang α.



RAPPORT

SUR

LES MIROIRS PLANS EN VERRE ARGENTÉ

EXÉCUTÉS PAR M. AD. MARTIN

POUR LA

COMMISSION DU PASSAGE DE VÉNUS

PAR

C. WOLF

(Rapport lu à la Commission du passage de Vénus, le 3 janvier 1874.)

La Commission du passage de Vénus m'a chargé de suivre le travail des miroirs plans, dont elle avait confié l'exécution à M. Ad. Martin, et de soumettre ces miroirs aux épreuves nécessaires pour en constater les qualités optiques.

M. Ad. Martin a bien voulu m'admettre à constater, chaque jour, les progrès de ses travaux ; j'ai pu ainsi me convaincre de la sûreté des méthodes par lesquelles il arrive à obtenir le plan optique, et, en même temps, j'avais l'occasion d'admirer son habileté à saisir les indications les

plus délicates des procédés d'exploration, et la scrupuleuse conscience avec laquelle il poursuit et atteint une perfection longtemps déclarée inaccessible.

La surface du verre, réfléchissant dans une lunette les rayons qui lui arrivent d'une mire éloignée sous une incidence d'environ 85° à partir de la normale, doit donner une image de la mire, identique à l'image directe, et surtout le faisceau doit présenter, en-deçà et au-delà du foyer de la lunette, une symétrie dont la moindre altération deviendrait visible, en accusant la convexité ou la concavité de la surface, ou une différence de courbure suivant deux plans orthogonaux. En outre, l'examen de ce que L. Foucault a appelé le solide différentiel donne de précieuses indications sur la nature de la surface. Il est à remarquer que le verre se prête à ces examens, dès qu'il a reçu le premier douci, ce qui permet de suivre pas à pas les transformations de la surface. Comme, pendant le travail, le verre s'échauffe très-sensiblement, qu'il est difficile d'autre part que la masse ne présente quelques traces de trempe, les miroirs sont abandonnés à eux-mêmes pendant plusieurs semaines, puis vérifiés de nouveau et au besoin retouchés. Aucun des cinq miroirs n'a été considéré comme terminé avant que nous ayons constaté d'un commun accord, M. Martin et moi, que les différents modes d'épreuve n'accusaient plus aucun défaut de la surface. A la fin de septembre, ces miroirs étaient terminés ; ils ont été ensuite montés par M. Eichens.

A l'exception du miroir livré en août dernier à M. Cazin, trop peu de temps après les dernières retouches, et qu'il sera bon d'examiner à nouveau, j'étais donc assuré que les

miroirs qui m'étaient remis présentaient une identité absolue. Il m'a suffi de soumettre l'un d'eux à la dernière épreuve, qui consistait à m'en servir pour examiner l'image des étoiles vues par réflexion, après l'avoir fait argenter.

Sous l'incidence la plus grande qui permette au faisceau réfléchi de couvrir entièrement l'objectif d'une excellente lunette de Cauche de 16 centimètres d'ouverture, l'image d'une étoile, vue avec des grossissements de cent à trois cents fois, est parfaitement ronde ; le faisceau, en-deçà et au-delà du foyer, présente une section parfaitement circulaire. L'image du ciel dans le miroir est identique au ciel lui-même.

J'ai l'honneur de proposer à la Commission d'accepter les cinq miroirs optiquement plans qui ont été livrés par MM. Ad. Martin et W. Eichens.

M. le Président propose à la Commission d'adresser à M. Martin le témoignage de sa satisfaction et l'expression de sa reconnaissance, pour les soins qu'il a donnés au travail délicat qu'exigeait la construction des sidérostats qu'il vient de terminer. La Commission sait que M. Martin, seul, était en possession des appareils et des méthodes qu'exigeait ce travail ; elle en a suivi, avec le plus vif intérêt, l'application dans ses plus minutieux détails.

TABLE DES MATIÈRES

PLANCHES TIRÉES HORS DU TEXTE.

Paris. — Typographie Firmin Didot frères, fils et Cie, rue Jacob, 56.